

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

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

# **ФИЗИКА**

**(Механика бўлими)**

**Ўзбекистон Республикаси Олий ва ўрта маҳсус таълим  
вазирлиги томонидан ўқув қўлланма сифатида тавсия этилган**

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

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

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

## **МУҚАДДИМА**

Буюк келажак сари дадил қадамлар билан одимлаётган диёримиз ўз келажагини 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 маданиятли бўлиши билан бир қаторда билим савияси жаҳон андозаси даражасида бўлиши, ўз билим ва кўнгумлари асосида ҳозирги замон технологияси ёрдамида замонавий асбоб-ускуналар билан ишлай олиши, фан ютуқларини халқ хўжалигининг турли соҳларида қўллай олиши керак.

Ана шу мақсадни амалга ошириш борасида мустақил республикамизнинг ҳамма вилоятларида, туманларида, шаҳарларида академик лицейлар, хунар-техника коллежлари замон таъаби асосида қурғилмоқда

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 қўшиш 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» бўлимларидан иборатdir.

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, колледж талабаларининг мавзуларни мустақил ўзлаштиришлари ҳисобга олинди.

Қўлланмада «Оддий механизмлар» ва «Гидроаэростатика ва гидроаэродинамика» бўлимлари тўлдирилган. Тебранишлар механик ҳаракатнинг бир қўриниши бўлганлиги сабабли мавзуни 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 гурӯҳи буюк боболаримиз қомусий алломалар Абу Райхон Беруний, Аҳмад ал-Фарғоний, Абу Али ибн Сино ва бошқаларнинг ҳаёти ва илмий фаолияти тўғрисидаги маълумотларни талабаларга етказиши 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. Фозиев, XI бобни профессор Б. О. Отакулов, X бобни Ю. П. Пўлатов ва З. А. Фозиев ҳамкорликда, XIII бобни Б. О. Отакулов ва З. А. Фозиев ҳамкорликда, XII-XIV бобларни Н. А. Халилов, алломалар ҳаёти ва илмий фаолиятини Б. О. Отакулов, З. А. Фозиев ёзган.

Қўлланма олий ўқув юртлари талабалари, академик лицеи, колледж ва мактаб ўқувчилари ҳамда ўқитувчилари фойдаланишлари учун тавсия этилади.

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

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

# 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, Күёш, 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 исиши ва бошқалар. Табиатда содир бўлаётган ҳодисаларнинг сабаблирини ўрганувчи фанлардан бири физика фанидир. «Физика» юончча *«phusis»* сўзидан келиб чиққан бўлиб, табиат демакдир.

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

Физика сўзини фанга биринчи марта эрамиздан 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 қуриш 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 ҳодиасаларга 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 улчаш 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 суриласди. Ҳар қандай гипотеза тажрибалар асосида текширилган ва тасдиқланган бўлиши керак. Гипотеза тажриба асосида тасдиқланса ва тўғри талқин қилинса, қонунга айланади. Қонун – табиат ҳодисаларининг характеристики ҳақидаги энг умумий қоида ҳисобланади. Масалан, сақланиш қонунлари, Кулон қонунлари ва бошқалар.

Муайян ҳодисаларни тушинтириш учун физик модел яратиласди. Модел деб ўрганиладиган ҳодисанинг маълум тушунчалар ёрдамида яратилган манзарасига айтиласди. 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 гоялар системасига айтиласди. Фаннинг ривожида буюк алломаларнинг меҳнати жуда каттадир. Бу алломалардан Ўрта Осиёда яшаб ижод этган Абу Райхон 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 ўки атрофида айланма ҳаракатида иштирок этади. Демак, табиатдаги барча нарсалар табиатнинг бирор жойида (фазода) ва бирор вақт ичиде бошқа жисмларга нисбатан маълум бир вазиятни эгаллади. 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 маҳсус асбоблар орқали аниқлади. Бу ҳолат фанда **материя** деб аталади. Материянинг асосий хоссаси 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 контогининг ўйингоҳга нисбатан ҳаракати.

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

Ривоятларга қараганда, бир доңишманд ўлими олдидан фарзандаларга васият қолдириб, унда ҳөвлининг тўрида жойлашган ўрик дарахти ёнига бориб, 12 қадам чапга, сўнгра 10 қадам ўнгга юриб ўша ерни 2 газ кавлаб чуқурдан ҳар бирларингта аталган меросларни топасизлар, деб айтган экан. Ота ўлимидан 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 аниқлади.

### 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 тўплланган жисмга айтилади.

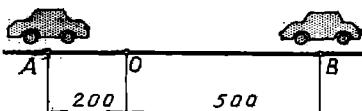
Ҳар бир жисмни муйян шароитда моддий нуқта деб, қараш мумкин. Бошқа шароитда эса бу жисм моддий нуқта бўлмаслиги мумкин.

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, саноқ жисмини танлаб олиш лозим. Саноқ жисми мутлақо ихтиёрий равишда танлаб олинади. Мисол учун бино, ҳаракатдаги автомобиль, Ер, Қуёш, юлдузлар саноқ жисми сифатида олиниши мумкин.

Саноқ 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, саноқ боши 0 нуқта танлаб олинади. 0 нуқтадан ўнг томондаги координата нуқталарини мусбат, чап томондаги нуқталарни манфий деб ҳисоблаймиз.  $O$ В йўналишдаги автомобиль вазияти  $X=0$ ,  $V=500$  м координата билан,  $A$ 0 йўналишдаги автомобиль вазияти

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



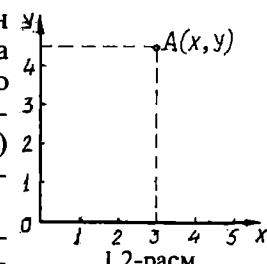
1.1-расм.

Агар жисм текислиқда ҳаракат қилаётган бўлса, у ҳолда текислиқда танлаб олинган саноқ бошига нисбатан ўзаро перпендикуляр бўлган иккита координата ўқлари, яъни ОХ ва ОУ ўқлар ўтказилади. Нуқтанинг вазияти иккита координата орқали аниқланади (1.2-расм).

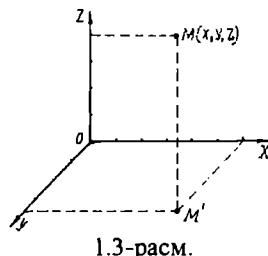
Жисм қаракати фазога нисбатан аниқланадаётган бўлса, саноқ бошига нисбатан (саноқ жисм орқали) ўзаро перпендикуляр бўлган учта координата ОХ, ОУ, ОZ ўтказилади (1.3-расм) ва жисмнинг фазодаги вазияти учта координата X, Y, Z билан аниқланади.

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

Саноқ жисм билан боғланган координаталар системаси ва соатдан иборат бўлган тўплам саноқ системаси деб аталади. Саноқ сиситемаси: 1) саноқ жисм; 2) координаталар сиситемаси; 3) ўлчов масштаби; 4) координаталар боши (ҳисоб олиш учун); 5) вақтни ўлчаш усули (соат); 6) вақтни ўлчов боши каби элементлар тўпламидан иборат бўлади.



1.2-расм.



1.3-расм.

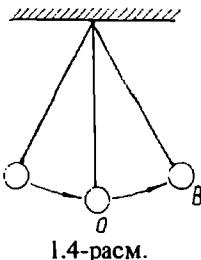
### 3-§. ФАЗО ВА ВАҚТ

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

Табиатда мавжуд бўлган нарсалар – уй, дараҳт, китоб, одам, 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 текшириш ва хисобларга асосан Ергача юз йиллардан сўнг етиб келиши маълум, демак, бу жисмлар орқасида янада узоқроқда бошқа жисмлар мавжудлигини исботглайди.

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

Жисм ҳаракат қилиши 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 шипига осилган шарча ва ипдан иборат система хонанинг шароити ўзгармаса, А вазиятдан В вазиятга кундузими ёки кечасими, баҳордами ёки куздами, барин- бир бир хил вақт давомида ўтади. Вақт ўзига хос хоссага эга бўлиб, объектив мавжуд. Узлуксиз, бир текис ўтади, бир ўлчамли ва фақат олдинга ҳаракат қиласи. Вақт фазо, ҳаракат ва материя билан узлуксиз боғланган. Табиатда ҳаракатланувчи материядан бошқа ҳеч нарса йўқ ва бўлиши мумкин эмас. Материя фақат макон (фазо) ва замонда (вақтда) ҳаракат қиласи. Вақт маҳсус асбоблар – соат ёрдамида ўлчанади.



1.4-расм.

#### **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 эган ҳил 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-

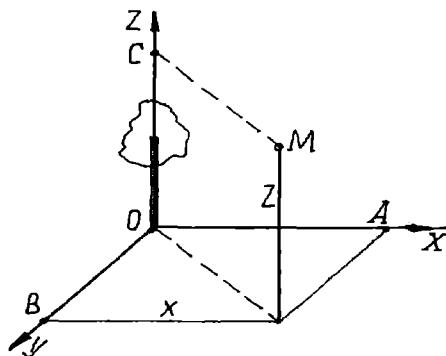
га келтиrsак етарлидир. Масалан, чelакдаги сувни бир жойдан иккинчи жойга оib күйилганда ёки чархпалакнинг айланма ҳаракатида ундағи чelакчаларнинг ҳаракатида, Марғilon шаҳридан Фарғона шаҳрига кетаётган автобус ҳаракатида ҳаракатдаги жисмларнинг барча нуқталари бир хил масофага сийжиган бўлади. Яъни 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 масофа-га нисбатан жуда кичик бўлган ҳолларда жисмнинг ҳар бир нуқтасининг ҳаракатини тавсифномаси ҳам бўлади.

Масалан, футбол майдонидаги футбол коптогининг ҳаракатини кузатсак, майдон ўлчамига қараганда коптогининг ўлчами жуда кичик, шунинг учун коптожи 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 ўриндиchlари ёки деворлари ва бошқалар олиниди. Бу жисмларда танланган ихтиёрий 0 нуқтадан координаталар боши сифатда фойдаланиб, ўзаро перпендикуляр 0X, 0Y, 0Z координата ўқлари ўтказилади (1.5-расм), яъни Декарт координаталар системаси.

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

Моддий нүкта ҳаракатланиб А ҳолатдан В ҳолатга ўтсин. Моддий нүктанинг саноқ системасидаги ҳаракатини аниқлайлик.

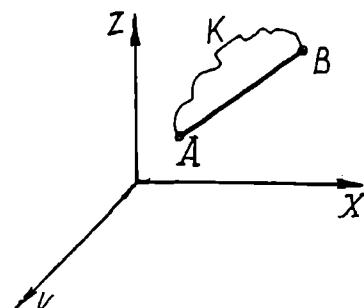
Моддий нүкта АКВ эгри чизиқ бўйлаб ҳаракат қилсан. Бу эгри чизиқ моддий нүктанинг траекторияси бўлади. Эгри чизиқнинг узунлиги эса моддий нүктанинг босиб ўтган йўлидир.

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

Моддий нүктанинг бошлиғи вазияти А билан охириги вазияти В ни туташтирувчи йўналиши тўғри чизиқ кесмаси АВ моддий нүктанинг кўчиши деб аталади. Кўчиш вектор катталиқ, чунки унинг йўналиши доимо берилади ва йўналиш тўғри чизиқ учига стрелка қўйиб кўрсатилади. Стрелканинг кўрсатиши моддий нүктанинг янги вазиятини белгилаб беради (1.6-расмда В нүкта).

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

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



1.6-расм.

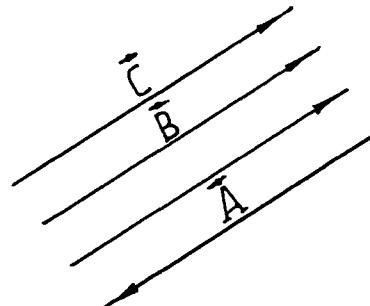
## 5-§. ВЕКТОРЛАР. ВЕКТОРЛАР УСТИДА АМАЛЛАР

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

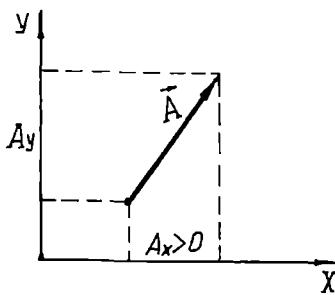
Векторнинг сон қиймати унинг модули бўлиб, иккита параллел вертикал чизик бўлган вектор белгили ёки белгисиз ҳарф билан белгиланади ва  $C = \bar{C}$  ] ҳамма вақт мусбат скаляр катталик бўлади. Векторлар чизмада учидаги кўрсаткич (стрелка) белгиси бўлган тўғри чизик кесмаси орқали тасвирланади. Кўрсаткич векторнинг йўналишини кўрсатади, кесма узунлиги сон қиймати жиҳатидан векторнинг модулига тенг бўлади. Векторларни характерловчи қуйидаги қоидаларни 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 иккита вектор параллел ва бир томонга йўналган, модуллари тенг бўлса, бу векторлар геометрик жиҳатдан тенг бўлади; в) векторларни ўз-ўзига параллел равишда исталган нуқтага кўчириш мумкин (шу вектордан ташқари).

Ўзаро параллел тўғри чизиклар ёки бир бурчак тўғри чизик 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.  $\bar{A}$  векторнинг координата ўқидаги проекцияси деганда мос координата ўқларидаги ( $X$  ва  $Y$ ) мусбат ва манфий ишора билан олинган  $\bar{A}$  векторнинг боши ва охири билан чегаралангандан  $A_x$  ва  $A_y$  кесма узунлиги тушунилади (1.8-1.9-расмлар). Вектор проекцияси скаляр катталиkdir.

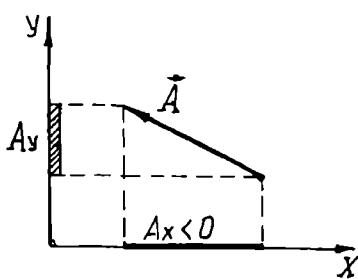


1.7-расм.



1.8-расм.

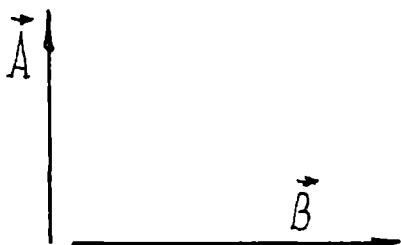
(*A вектор йұналиш X ўқи бүйічіңа йұналған ҳолда проекция мүсбат*)



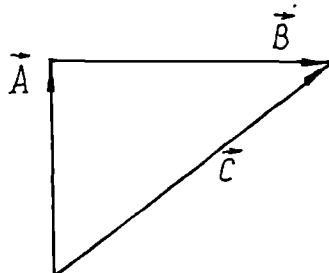
1.9-расм.

(*A вектор йұналиш X ўқи бүйічіңа қарама-қарши йұналған ҳолда проекция мәнфай*)

Сизге математикадан маълумки, вектор катталиклар геометрик равища күшилади. Иккита  $\vec{A}$  ва  $\vec{B}$  векторларни құшиш учун  $\vec{B}$  вектор  $\vec{A}$ -дегіңде параллел ҳолда қүчирилиб,  $\vec{B}$  векторнинг боши  $\vec{A}$  векторнинг учи билан устма-уст күйилади (1.10-расм).



1.10-расм.

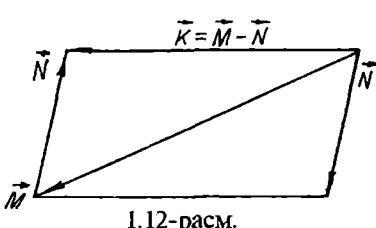


1.11-расм.

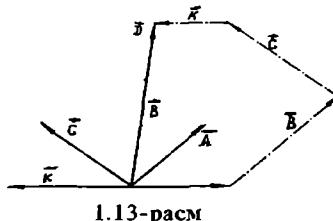
Йиғинди вектор  $\vec{C} = \vec{A} + \vec{B}$  га тенг бўлади (1.11-расм). Бир неча векторларни құшишда ҳар бир навбатдаги векторнинг боши ўзидан аввалги векторнинг учи билан устма-уст күйилади. Биринчи векторнинг бошидан охирги вектор учига ўтказилган кесма натижавий йиғинди вектор бўлади (1.11-расм).

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



1.12-расм.



1.13-расм

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 катталик деб, сон қиймати, йўналиши ва геометрик қўшилиши билан характерланадиган физик катталикка айтилади.

## САВОЛЛАР

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

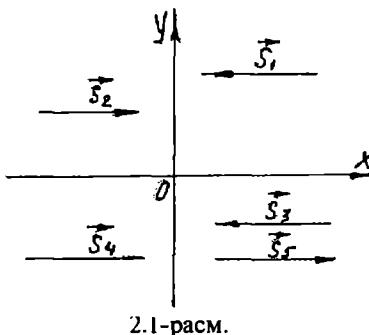
## II бөб

### 6-§. ТҮФРИ ЧИЗИҚЛИ ТЕКИС ҲАРАКАТДА КҮЧИШ

Механик ҳаракатнинг энг содда күриниши түфри чизиқ бўйлаб содир бўладиган ҳаракатdir. Түфри чизиқли ҳаракат текис ёки нотекис бўлади. Текис ҳаракатда жисм (моддий нуқта) тенг вақтлар оралиғида тенг масофаларни босиб ўтади. Түфри чизиқли текис ҳаракатда эса жисм тенг вақтлар оралиғида тенг масофаларга кўчиши билан траекторияси түфри чизиқдан 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-расм).

Жисмнинг бирор  $t$  вақт ичидаги кўчишини аниқлаш учун, шу жисм  $t$  вақт ичida  $\vec{S}$  миқдорга кўчишини би-



2.1-расм.

лиш билан  $\frac{\vec{S}}{t}$  нисбатини

ҳам аниқлаш керак бўлади.  $\frac{\vec{S}}{t}$  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:

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

$\vec{S}$  — күчиш вектор катталиқ,  $t$  — вақт оралиғи скаляр катталиқ, ҳаракат жадаллығы,  $\vec{V}$  — тезлик эса вектор катталиқ бўлади, чунки вектор катталиктинг скаляр катталика нисбати вектор бўлади. Жисм ҳаракат тезлигини билган ҳолда ихтиёрий  $t$  вақт ичидаги күчишни топамиз:

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

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

Күчиш бирлиги сифатида метр қабул қилинади.

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

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

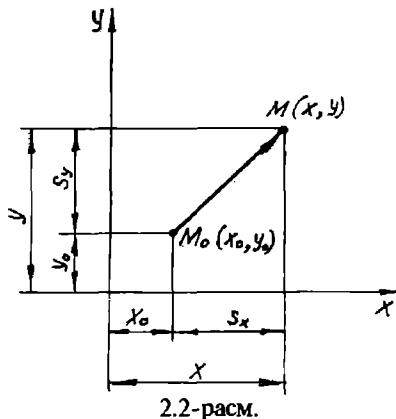
Векторларнинг координата ўқларидаги проекциялари скаляр катталиқ бўлиб, алгебраик амалларни бажариш имконини беради.

$\vec{S} = Vt$  бўлганлиги сабабли, бу катталикларни  $X$  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

$$S_x = X - X_0,$$



$$S = Y - Y_0 \quad (2a)$$

Күчиш векторининг X ва Y координаталари:

$$\begin{aligned} X &= X_0 + S_x, \\ Y &= Y_0 + S_y. \end{aligned} \quad (3)$$

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

$$\begin{aligned} X &= X_0 + V_x t, \\ Y &= Y_0 + V_y t. \end{aligned} \quad (3a)$$

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

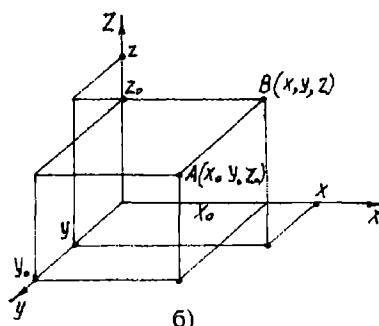
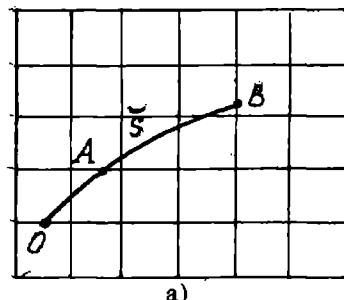
$$V_x = \frac{X - X_0}{t} \quad (4)$$

Тезлик бирлиги 1м/с бўлиб, у 1 секунд вақт бирлигига жисмнинг 1 метр масоғага кўчиш жадаллигини ифодаловчи катталикдир. Техникада тезликнинг бирлиги 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 билдирадар экан.

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

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

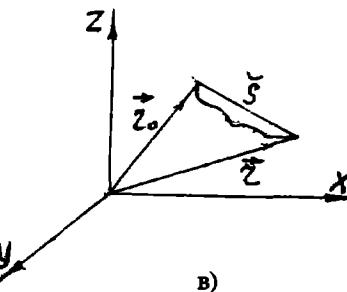


вақтдаги ўрни бошланғич саноқ системасыда олинади. Жисм бошланғич вазияти А нүктада,  $\Delta t$  вақтдан сүнг вазияти В нүктега ўтса, жисм вазияти траектория бўйича аниқланади (2.3-расм, а). Расмдан S ёйнинг узунлиги  $S=AB$  бўлади.

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  $Y$  ўқлардаги ҳаракат тезликларининг проекциялари  $X_0$ ,  $Y_0$  ва  $Z_0$  жисмнинг бошланғич пайтдаги координаталари.



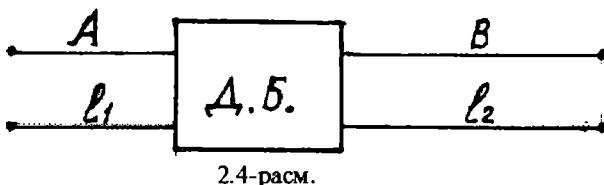
2.3-расм.

3. Вектор усули. Бу усулда жисм (моддий нүкта)нинг исталған пайтдаги фазодаги ўрни координата бошидан жисм турған нүктагача ўтказилган  $\vec{r}$  радиус-вектор ёрдамида аниқланади (2.3-расм, в).  $M_0$  нүктанинг бошланғич пайтдаги вазияти  $\vec{r}_0$  радиус-вектор билан аниқланса,  $\Delta t$  вақт оралиғида нүкта  $M_0$  вазиятдан  $M$  вазиятга кўчса, нүктанинг янги  $M$  вазияти  $\vec{r}$  радиус-вектор орқали аниқланади. Нүктанинг бошланғич вазиятидан охирги вазиятига ўтказилган йўналишлик  $S$  кесма узунлигига нүктанинг 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 нұқта)нинг вазиятiniң ҳодиса содир бўлган жойда тинч турган жисм (саноқ жисми)га нисбатан аниқлаш ва координаталар системаси орқали ифода-



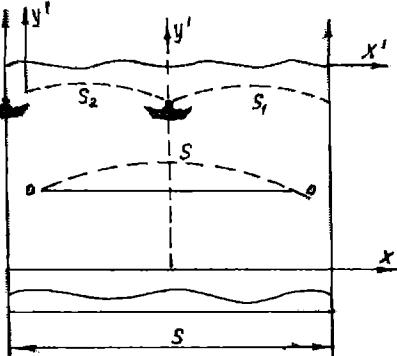
2.4-расм.

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

Жисмнинг вазияти нисбий бўлади. Масалан, инсон яшамайдиган саҳродағи икки темир йўлда битта поезд вагони ва унинг ичидаги йўловчилар ҳаракат қылмай тинч турган бўлса, иккинчи йўлдаги поезд вагони ва унинг ичидаги йўловчилар ҳаракат қилиб, биринчи поезддан ўтиб кетаётib, уни тинч турганлигини таъкидласалар, шу пайтнинг ўзида биринчи поезд вагонидаги йўловчилар биз ҳаракат қилаяпмиз, иккинчи поезд вагонлари тинч турибди, дейишлари мумкин. Бу ҳолда иккала поезд вагонидаги 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 сузуб кетаётган бўлсин (2.5-расм). Сузувчининг ҳаракати ХОУ координата системасига асосланган ва

Қирғоқда тинч турған кузатувчи текшираётган бўлса,  $X'O'Y'$  ҳаракатдаги координаталар системасига асосланган қайиқдаги кузатувчи текшираётган бўлсин. Қайиқдарё 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  $\vec{V}_1$ , ни аниқлайди:

$$\vec{V}_1 = \frac{\vec{S}_1}{t} \quad (1)$$

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

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

ҳолида ҳисоблаб топади 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  $\frac{\vec{S}}{t}$  – сузуvinинг ҳаракатдаги  $X'O'Y'$

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

$\frac{\vec{S}}{t}$  – қайиқнинг  $XOY$  күзгалмас координаталар система-  
ти мисига нисбатан  $\vec{V}_2$  тезлиги, у ҳолда умумий тезлик қуи-  
дагича топилади:

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

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

(4) ифода эса тезликларнинг қўшиш формуласидир.

Жисмнинг күзгалмас координата система-ти мисига нисбатан  
тезлиги жисмнинг кўзгалувчи координата система-ти мисига нис-  
батан тезлиги билан кўзгалувчи системанинг кўзгалмас сис-  
темага нисбатан тезлигининг геометрик йигиндисига тенг экан.

Биз келтирган мисолда сузуви, қайиқ ва дарё оқими  
йўналиши  $X$  ўқи бўйича бўлганлиги сабабли (сузуви 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 сузуви ҳаракати дарё оқими  
йўналишида (ёки унга қарши) бўлган ҳол учун кўриб чиқил-  
ди, олинган натижага факат шу ҳолат учунгина ўринли бўлмай,  
балки сузуви дарё оқими йўналишига нисбатан тик (перпен-  
дикуляр) йўналишда ҳаракат қилганда ҳам ўринли бўлади.

## САВОЛЛАР

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

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

## 8-§. ҲАРАКАТНИ ГРАФИК ШАКЛДА ТАСВИРЛАШ

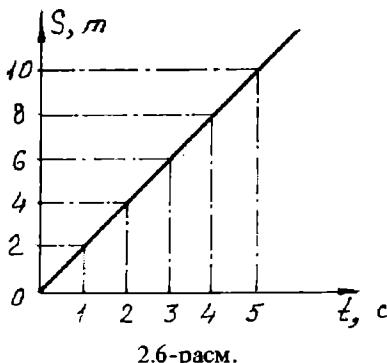
Жисм (моддий нуқта) тўғри чизиқли текис ҳаракат қилганда, бу ҳаракат координаталарининг ўзгариши  $X=X_0+V_x t$  ифода орқали аниқланар эди. Жисм босиб ўтган йўлнинг шу йўлни босиб ўтиш учун сарфланган вақтга боғлиқлиги ҳаракат қонунини аналитик (формула) усулда тавсифлаш билан бир қаторда график усулда 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 ўқига  $t$  вақт (горизонтал  $X$  ўқи) ва ординаталар ўқига 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 иборатdir. Демак, тўғри чизиқли текис ҳаракатда йўл графикни координата бошидан ўтувчи тўғри чизиқ экан.

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



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

Текис ҳаракатда тезлик ўзгармас катталик бўлгани учун тезлик графиги чизиқдан иборат бўлиб, вақт ўқига параллел бўлади. 2-жадвалда 3 та ҳаракатнинг тезлиги билан вақти орасидаги боғланиш келтирилган ва 2.7-расмда 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 қиласётган жисм ҳаракати координата ўқининг йұналишига қарама-қарши томонга йўналганлиги сабабли тезлик графиги вақт ўқидан пастга жойлашади.

Тезлик графиги асосида жисм босиб ўтган йўлни аниқлаш мумкин. Текис ҳаракатда 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.

## 9-§. БИРЛИКЛАР СИСТЕМАСИ

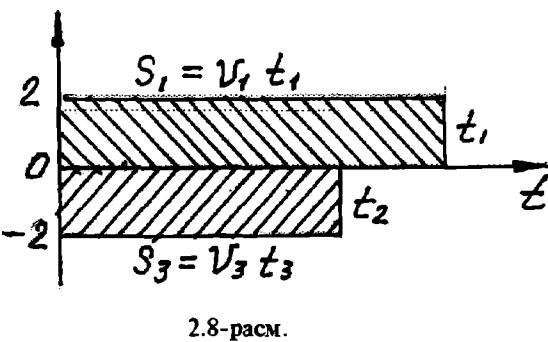
Физика фанини ўрганишда жуда кўп физик катталиклар билан иш қўрилади. Бу катталиклар эса ўз бирлигига эга бўлиши керак, яъни бирликларни ифодаловчи система зарур. Физик катталиклар бирликлари тўплами бирликлар сис-

темаси деб аталади. Физик катталиқ бирлигини аниқлаш деб уни ўлчов бирлиги сифатида шартли равища қабул қилинган ва у билан бир жинсли бўлган катталика бирор усул орқали таққослаш тушунилади. «Механика»

бўлимида асосан учта катталиқ: узунлик—метр, вақт—секунд, масса—килограммларда ўлчанади. Бу учала катталикнинг бирликлари асосий бирлик ҳисобланади.

Узунлик бирлиги сифатида қадимдан одамлар ўзлари билан боғлиқ бирликлардан фойдаланишган: қадам, қарич, бўғин ва ҳ.к. Ягона ва турғун масштаб танлаб олиш зарурати пайдо бўлгандан сўнг 1 метр қабул қилинган. Метр—Ернинг Париждан ўтадиган меридиани узунлигининг  $1/40000000$  қисмiga тақрибан тенг, яъни Ер меридианалайланаси чорагининг  $10^{-7}$  қисми қабул қилиниб, платинадан этalon 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 бирлиги сифатида узоқ вақт мобайнида юлдузларнинг кўринма ҳаракатидан фойдаланиб келинган, кейинчалик ўлчов аниқлигини ортириш мақсадида 1 секунд қабул қилинган. 1967 йили вақт бирлигининг 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 бирлиги 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.



2.8-расм.

Ҳозирги кунгача механик катталикларни ўлчашда қуи-даги 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 олимі К. Гаусс тақлифи 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. Ҳалқаро бирликлар системаси—СИ 1960 йилнинг оқтабрида қабул қилинган. Бу системага асосан етти асосий бирлик мавжуд. Шундан узунлик бирлиги—метр (м), масса бирлиги—килограмм (кг), вақт бирлиги—секунд физика фаннининг тегишли бўлимларида кўриб чиқилади.

### III боб

## 10-§. ТҮГРИ ЧИЗИҚЛИ НОТЕКИС ҲАРАКАТ

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

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

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

Түгри чизиқли нотекис ҳаракат деб, жисм ҳаракати давомида қолдирилган траекторияси түгри чизик бўлиб, вақтлар оралиғида ҳар хил масофалар босиб ўтиладиган ҳаракатга айтилади.

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

$$\bar{V} = \frac{\bar{S}_1}{t_1} = \frac{\bar{S}_2}{t_2} = \frac{\bar{S}_n}{t_n} = \dots = \frac{\bar{S}_n}{t_n} \quad (2)$$

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

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

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

фойдаланилади. Автомобиль З соат давомида 180 км масоғани 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 масоғани босиб ўтмас экан. Ўртacha тезликни аниқлашда юқорида кўрсатилган сабабларни ҳисобга олмасдан автомобиль ҳар соатда 60 км масоғани ўтади, деб ҳисоблаймиз ва ўртacha тезликни аниқлашда автомобиль ўзгармас тезлик билан ҳаракат қиласи деймиз, бунда ўртacha тезлик

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

формула орқали, кўчиш эса

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

формула орқали аниқланади.

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

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

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

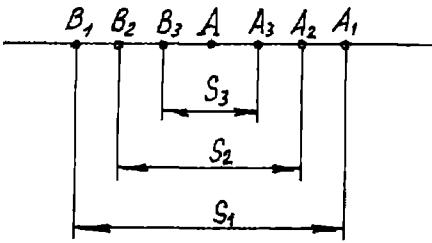
Жисм ҳаракати давомида траекториясининг маълум қисмидаги тезлигини ўртacha тезлик ҳарактерласа, траекториянинг бирор A нуқтасидаги тезлигини вақт моментида оний тезлик белгилайди.

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

Жисм тўғри чизиқ бўйлаб нотекис ҳаракат қилаётган бўлса, жисмнинг ўз траекториясидаги бир A нуқтадаги оний

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

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



3.1-расм.

ўртacha тезликни  $\overline{V}_1 \text{ ў pm} = \frac{\vec{S}_1}{t_1}$  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 нүктани олади ва кўчишини  $\vec{S}_2$  ( $A_2B_2 = \vec{S}_2$ ), кўчиш вақтини  $t_2$  деб,  $\vec{S}_1 > \vec{S}_2$  шарт учун

ўртacha тезлик  $\overline{V}_2 \text{ ў pm} = \frac{\vec{S}_2}{t_2}$  ифода орқали аниқланади. Бу ора-

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

ўртacha тезлиги  $\overline{V}_3 \text{ ўрт} = \frac{\vec{S}_3}{t_3}$  бўлади.

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

$$\overrightarrow{V}_0 = \frac{\Delta \vec{S}}{\Delta t} = \ddot{e}ki \quad V_0 = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

Оний тезлик—вектор катталик. Оний тезлик йўналиши мазкур нуқтадаги ҳаракат йўналишига мос келади. Биз оний тезликини 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. ТЕЗЛАНИШ

Жисм нотекис ҳаракат қилганда жисмнинг оний тезлиги вақт ўтиши билан бир нуқтадан иккинчи бир нуқтага ўтганда узлуксиз равища 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 моментидаги тезликнинг ўзгаришини ҳам аниқлаш зарур бўлади. Бу масалани ҳал этиш учун маълум қиялиқдан пастга 5 м/с тезлик билан тушаётган велосипедчининг ҳаракатини кўриб чиқайлик. Велосипедчи қиялиқдан 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 катталика ортган бўлсин. Кўрилган мисолни аксинча йўналишда, яъни 13 м/с тезлик билан юқорига кўтарилаётган велосипедчининг 5 секунд давомида кўтарилишини кузатсан, кўтарилишнинг охирида унинг тезлиги 3 м/с бўлади. Бу ҳолда тезлик бир хил вақт оралиғида бир хилда камайиб боради (жадвал).

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

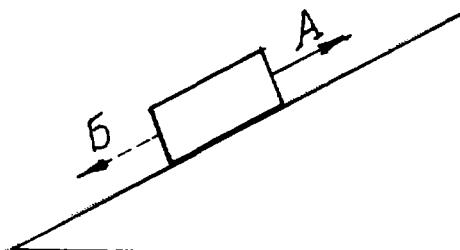
Худди шундай тажрибани қия тахтадан тушаётган (чиқаётган) аравача мисолида ҳам кузатиш мумкин. Тахтага миллиметр масштабли қоғозни ёпишириб, унинг устида енгил ҳаракат қилувчи аравачага рангли суюқлик қуйилган жўмракли

идиш ўрнатиласы. Қия таҳтадан аравачани енгил ҳаракатлантириб жұмракни очиб күйсак, миллиметрли қоғозга томган рангли суюқлик томчилари орасидаги масофалар нотекис жойлашғанлигини күрамиз. Ҳаракат бошланишида томчилар орасидаги масофалар нотекис жойлашғанлигини күрамиз. Ҳаракат бошланишида томчилар бир-бирига яқын, кейингилари орасидаги масофа ортиб борганини күрамиз. Тенг вақтлар оралиғида томчилар орасидаги масофалар турлича бўлиб, бу аравачанинг ҳаракати нотекис эканини билдиради.

Ҳаракат бошланишигача томган томчи билан ҳаракат да-вомида томган томчилар орасидаги масофани шартли узун-лик бирлиги  $\ell$  деб, томчилар орасидаги масофалар орасидаги  $\ell$ ,  $3\ell$ ,  $5\ell$ ,  $7\ell$ ,  $9\ell$ , боғланишни аниқлаб ва тенг вақт оралиғида босиб ўтилган масофалар бир хил  $2\ell$  га ортишини

күрамиз. Бунда аравача тезлиги  $\frac{2\ell}{t}$  ортади.  $t$  икки томчи тушиш оралиғидаги вақт. Аравача аксинча юқорига ҳаракатлантирилганда, ҳаракат бошида томчилар сийрак, охирида зич бўлади. Демак, тенг вақтлар оралиғида аравачанинг 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 аравачанинг пастга ҳаракати) ва текис секинланувчи (юқорига ҳаракати) ҳаракат деб аталади.

Аравачанинг қиялиқдан пастга томон ҳаракатида тезлик текис ортиб борса, юқорига ҳаракатида тезлик текис камайиб боради.



3.2-расм.

Ҳаракатнинг тезлиги ихтиёрий бир хил вақтларда, бир хил катталика билан үзгариб борса, бундай ҳаракатга **текис үзгарувчан ҳаракат** дейилади.

Юқорида кўрилган мисолларда қиялик бурчагининг үзгариши билан ҳаракатлантирувчи жисмларнинг тезликлари мос равишда ортиши (камайиши) кузатилади, аммо ҳаракат текис үзгарувчан бўлади.

Текис үзгарувчан ҳаракатнинг характерли хусусияти ҳар бир ҳаракат учун тезлик үзгаришининг жадаллигини аниқлашдан иборатdir. Бу сифатни аниқлаш учун маҳсус катталик—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 қўйидаги формула ёрдамида аниқланади:

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

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

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

Вектор кўринишида (1) формула катталигининг модули қўйидагича

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

ёзилади.

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

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

Тезланиш деб, вақт бирлиги ичida тезликнинг үзгаришига миқдор жиҳатдан тенг бўлган вектор катталика айтилади.

Тўғри чизиқли текис үзгарувчан ҳаракатда тезланиш үзгарамас бўлади. Бошланғич вақт  $t_0 = 0$  бўлса, тезланиш формуласи қўйидагича 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:

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

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

Агар жисмнинг бошланғич тезлиги  $V_0$  ва тезланиши а 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 олинниб, бошланғич  $V_0$  ва охирги  $V_t$  тезликлар кўшилади ва йигинди иккига бўлинниб, ўртача тезлик топилади, яъни текис ўзгарувчан ҳаракатининг ҳар иккала (ортувчи ва камаювчи) ҳолатлари учун ўртача тезлик қўйидагича аниқланади:

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

## Текис ўзгарувчан ҳаракат қилаётган жисмнинг оний тез-

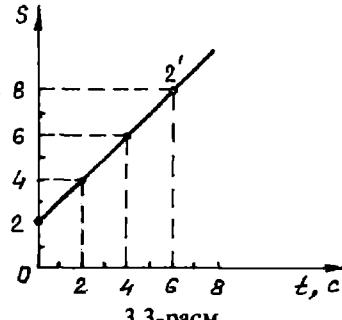
лиги  $a = \frac{V_i - V_0}{t}$  формуладан осон аниқланади, яъни

$$V = V_0 + \alpha t. \quad (2)$$

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

$t, \text{c}$	0	1	2	3	4	5	6	7
$V, \text{m/c}$	2	3	4	5	6	7	8	9

Графикда горизонтал ўққа т 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 графигидан фойдаланиб, текис тезланувчан ҳаракат қиласетган S  
  
 моддий нуқтанинг йўл формуласини келтириб чиқарайлик (3.4-расм). Расмдан босиб ўтилган йўлнинг катталиги OABC трапеция юзи орқали аниқла- нади. Трапеция юзи бошланғич ва охирги тезлик қийматлари йиғиндинсининг ярмини шу тезлик ўзгариши учун кетган вақтга кўпайтириб топилади. Моддий нуқтанинг босиб ўтиган 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.

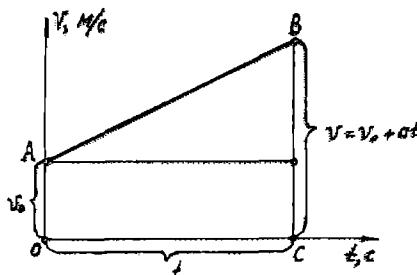
Агар мөддий нүктанинг бошланғич тезлиги  $V_0=0$  бўлса, йўл узунлиги қуидаги кўринишда аниқланади:

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

Энди йўл ва тезлик орасидаги боғланишни то-

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

муладан т вақтни аниқлаб,  
(3) формулага кўйсак,



3.4-расм.

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

формула ҳосил бўлади.

Тезлик учун

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

ифодани ёзамиз.

Агар бошлангич тезлик  $V_0 = 0$  га teng бўлса, (6) ни содалаштириб,

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

кўринишда ёзилади.

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

Текис ўзгарувчан ҳаракат қилаётган моддий нуқтанинг исталган вақтдаги координатасини аниқлаш учун унинг бошлангич координатаси  $X_0$  га кўчиш векторининг X ўқидаги проекциясини кўшиш 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 бошлангич  $X_0$  координата, бошлангич  $V_0$  тезлик ва а тезланишни билиш керак.

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

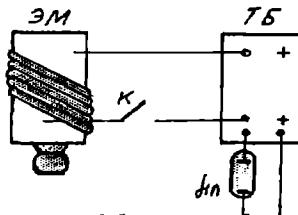
## 13-§. ЖИСМЛАРНИНГ ЭРКИН ТУШИШИ. ЭРКИН ТУШИШ ТЕЗЛАНИШИ

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 холосага 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 тасвириланган. Тажриба яхшилаб қоронғилаштирилган хонада миллиметрли қофоз 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 қалит 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:



3.5-расм.

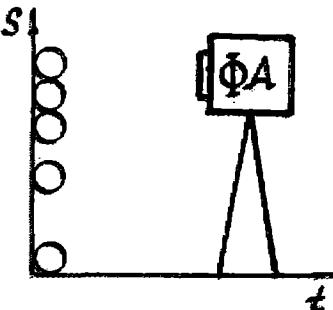
Вақт оралиғи, с	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
Вақт оралиғида ўтилган масофа, см	4,9	14,7	24,5	34,3	44,1	53,9	63,7

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

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

Энди нима учун барча жисмлар Ерга бир хил тезланиш билан тушади, деган саволга тўхталаётмоқ. Металл парчаси, қофоз бўлагини бир хил баландликдан ташласак, Ерга аввал металл парчаси, сўнгра қофоз бўлаги тушганини кузатамиз. Кузатиш натижасига асосланиб, жисмларнинг эркин тушиш тезланиши жисм оғирлигига боғлиқ экан, деган хulosага келинади, лекин қофоз бўлагини фижимлаб ташлаганда, у ерга тезроқ тушади, фижимланган қофоз оғирлиги ўзгаргани йўқ, балки ҳавога тегувчи юза ўзгаряпти. Демак, ҳаво жисмнинг эркин тушишига халақит беряпти.

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



3.6-расм.

**Иккинчи қоңуи.** Ернинг муайян жойида ҳавонинг қаршилиги бўлмаганда барча жисмлар бир хил тезланиш билан тушади.

Жисмларнинг бундай тезланишига эркин тушиш тезланиши деб аталади ва г ҳарфи билан белгиланади. Жисмларни ғ 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 қўймати турлича: Ер шарининг қутбida  $9,83 \text{ м/с}^2$ , экваторда  $9,78 \text{ м/с}^2$ , Франциянинг Севр шахрига мос географик кенглигда  $9,80665 \text{ м/с}^2$ , Москвада  $9,15 \text{ м/с}^2$ , Тошкентда  $9,8008 \text{ м/с}^2$ .

Эркин тушиш тезланишининг географик кенгликка боғлиқлиги қўйидаги сабаблар асосида тушунтирилади: биринчидан, Ер шари шар шаклида бўлмай, эллипс шаклида, Ернинг экватордаги радиуси кутбларга мос келган радиусидан катта, демак, оғирлик куч таъсирида олинган тезланиш  $g_e = 9,78 \text{ м/с}^2$ ,  $g_k = 9,832 \text{ м/с}^2$ , иккинчидан, Ер ўз ўқи атрофифда айланиши ҳисобига эркин тушиш тезланишига таъсир этади ва географик кенглигка 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 бошлангич тезлик билан юқорига ҳаракат қиласи. Бирор жисм юқорига тик равишда отилса, жисм юқорига чиққан сари ҳаракатини секинлата бориб, сўнгра Ернинг тортишиши натижасида қайтиб тушади. Жисм эркин тушиш тезланишига тенг тезланиш билан тушаётган бўлса, тезланувчан ҳаракат қиласи. Бу вақтда жисмнинг охирги тезлиги нолга тенг бўлгунча ҳаракат давом этади ва сўнгра жисм

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

$$a = \frac{V_i + V_0}{t} \text{ ни } g = \frac{V_i - V_0}{t} \text{ га алмаштирик, охирги тезлиқ учун оний тезликдан фойдалансак, } V_i = V_0 + at \text{ ўрнига } V_i = V_0 + gt \text{ ни ёзиш мумкин бўлади.}$$

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

Текис секинланувчан ҳаракатда охирги тезлик  $Vt=0$  бўлгани учун оний тезликни  $0 = V_0 - gt$  кўринишида ёзиб, бошланғич тезликни  $V_0 = gt$  кўринишида ифодалаб, сўнгра бу ифодани  $h$

баландлик формуласига қўйсак,  $h = gh^2 - \frac{gh^2}{2} = \frac{gh^2}{2}$  ҳосил бўлади.  $V^2 = V_0^2 + 2aS$  формулага асосан секинланувчан ҳаракат учун  $0 = V_0^2 - 2gh$  ни ёзиш мумкин, чунки  $Vt=0$  да  $V^2 - 2gh$  ёки  $V_0 = \sqrt{2gh}$  формула келиб чиқади.

Юқорига тик отилган жисмнинг ҳаракат тенгламалари қўйидагилардан иборат экан:

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

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

$$3. \text{ Оний тезлик: } V_0 = -gt.$$

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

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

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

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

Бундан ташқари, юқорига отилган жисмнинг бошланғич тезлиги жисмнинг қайтиб тушиш тезлигига тенг бўлади, яъни  $V_k = V_t$ , аммо йўналишлар қарама-қарши йўналган бўлади.

$$\text{Эркин тушаётган жисм координатаси } H = h_0 + V_0 t + \frac{gt^2}{2}$$

формула ёрдамида аниқланади.

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

Ҳар бир фанни чукур ўрганиш учун албатта, масалалар ечиш мухимдир. 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. Куйидаги маслаҳатларга амал қўлсангиз, масала ечишда катта ёрдам беради:

1. Масала шартини дикқат билан ўқиб чиқиб, масалада қандай физик ҳодиса, катталик ва қандай катталикни то-пиш кераклигини ажратиб олиш.

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

3. Масала шартига асосланиб, мантиқий муроҷаузалар юритиши.

4. Муроҷаузаларга асосланиб, масала ечиш тартибини аниқлаш.

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

6. Олинганд натижалар устида фикр юритиши, 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, автомобильнинг тўлиқ йўл бўйича ўртacha тезлиги топилсин.

Берилган:

$$V_1 = 50 \text{ км/соат}$$

$$V_2 = 70 \text{ км/соат}$$

Топиш керак:

$$V_{\text{урт}} = ?$$

Ечиш: Масала шартига асосан автомобиль тезланувчан ҳаракат қилганда

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

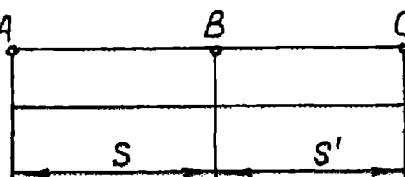
Формула ёрдамида  $V_{\text{урт}} = 60$  км/соат натижани олар эдик.

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 ўртacha тезлик:



3.7-расм.

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

(2) формулага сон қийматини кўйиб ҳисоблаймиз:

$$V_{\text{урт}} = \frac{2 \times 50 \times 70}{50 + 70} \frac{\text{KM}}{\text{soat}} = 68,3 \frac{\text{KM}}{\text{soat}} \approx 68 \frac{\text{KM}}{\text{soat}}.$$

Автомобиль тўлиқ йўлни соатига 68 км ўртacha 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:  
 $S=3600 \text{ км}$   
 $V=800 \text{ км}/\text{с}$

Топиш керак:

T-?

Ечиш: Самолёт түғри чизиқли текис ҳаракат қиласы деб  $S=Vt$  (1)

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

вақт формуласини аниқтаймиз.

(2) формулаға асосан вақтни топамиз:

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

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

3-масала.  $V=30 \text{ км}/\text{с}$  тезлик билан Қуёш атрофида ҳаракат қиласётган Ер бир суткада қанча масофани босиб ўтади?

Берилган:  
 $V=30 \text{ км}/\text{с}$   
 $t=1 \text{ сутка}=24 \text{ соат}$   
 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:

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

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

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

Берилган:

$$l_1=1300 \text{ м}$$

$$V_1=18 \text{ м}/\text{с}$$

$$l_2=250 \text{ м}$$

$$V_2=36 \text{ м}/\text{с}$$

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.

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

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

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

Берилган:

$$V_n = 1,5 \text{ м/с}$$

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

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

Топиш керак:

$$V_b = ?$$

Ечиш: Пиёда ва велосипедчининг тезликларини  $V_n$  ва  $V_b$  деб белгилаймиз  
Пиёда ва велосипедчи масофани  
масофани босиб ўтганлиги учун йўл  
формуласини қуидагича ёзамиш:

$$S = V_b t_b = V_n (t_b + \Delta t_\phi) \quad (1)$$

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

$$V_b = V_n \frac{t_b + \Delta t_\phi}{t_b} \quad (2)$$

Ҳисоблаймиз:

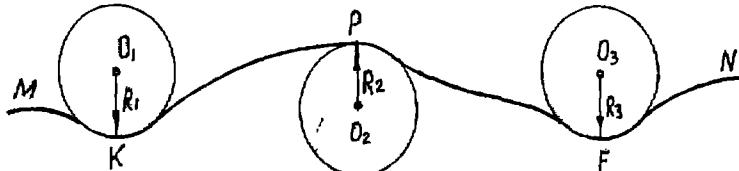
$$V_b = 1,5 \text{ м/с} \frac{600 \text{ с} + 1200 \text{ с}}{600 \text{ с}} = 1,5 \text{ м/с} \frac{1800}{600} = 1,5 \text{ м/с} \times 3 = 4,5 \text{ м/с}$$

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

## 16-§. АЙЛНАА БҮЙЛАБ ТЕКИС ҲАРАКАТ

Табиат ва техникада ҳаракат траекторияси түгри чизик 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. Түгри чизиқли ҳаракатда фақат битта координата ўзгаради. Эгри чизиқли ҳаракатда тезлик ва тезланиш векторларининг йўналиши ўзгириши билан уларнинг модуллари ҳам ўзгаради. Тезлик вектори йўналишининг ўзгириши траекториянинг эгрилигига боғлиқ бўлади.

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



4. I-расм.

$MN$  эгри чизик 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 нуқталаридаги эгрилик радиуслари ҳисобланади,  $O_1$ ;  $O_2$  ва  $O_3$  нуқталар траекториянинг **эгрилик марказлари** деб аталади. Эгрилик радиусига тескари бўлган катталика ( $C=1/R$ ) траекториянинг берилган нуқтадаги **эгрилиги** деб аталади. Демак, ихтиёрий шаклдаги траекториянинг алоҳида қисмларини  $R$  радиусига мос келувчи айлананинг ёйи бўйлаб бўлаётган ҳаракат деб қарашиб мумкин.

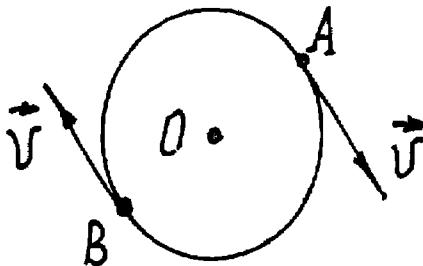
Эгри чизиқли ҳаракат энг содда моддий нуқтанинг айлана бўйлаб текис ҳаракатидир.

Айлана бўйлаб текис ҳаракатга мисол сифатида Ернинг бир суткалик ҳаракатида Ер юзи нуқтасининг, айланаётган жисм бирор нуқтасининг ҳаракати, Ер атрофида доираий орбита бўйлаб учәтган 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  $t_1$  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 масоғани босиб ўтади. Моддий нуқтанинг ҳара-



4.2-расм.

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

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

Айланма ҳаракатни тушунтиришда чизиқли 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 айланга бўйлаб ҳаракатини тавсифлаш учун бурчак тезлик тушунчикини киритилади. Бурчак тезлик деб вақт бирлиги ичидаги бурилиш бурчагига миқдор жиҳатидан тенг бўлган катталикка айтилади. Бурчак тезлик  $\omega$  (грекча омега) ҳарфи билан белгиланади:

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

Моддий нуқтанинг айланга бўйлаб ўзгармас бурчак тезлик билан қилаётган ҳаракати айланга бўйлаб текис ҳаракат деб аталади.

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

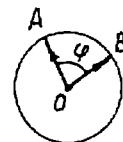
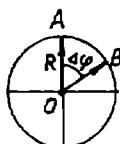
$$\text{рад/с}=1/\text{с}.$$

Бурчак тезлик вектор каталик бўлиб, унинг йўналиши айланниш ўқи бўйича бўлади ва парма қоидаси асосида аниқланади (4.3-расм).

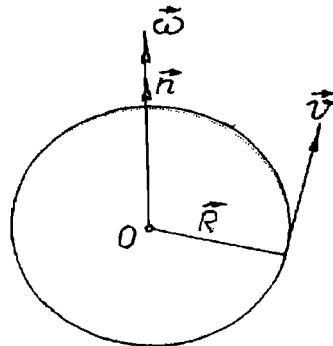
Агар парма дастасининг айланниш йўналиши айланма ҳаракати йўналишига мос келса, парманинг илгариланма ҳаракати бурчак тезлик йўналишини кўрсатади.

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

Бурчак тезликнинг ифодасини бошқа кўринишда ёзиш учун айланниш даври ва бирлик вақт ичидаги айланнишлар сони, яъни айланниш 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 Т ҳарфи билан белгиланади.

Моддий нуқтанинг бир секунд ичидаги айланышлар сонига айланыш частотаси деб аталади ва  $\nu$  (грекча  $\nu$ ) ҳарфи билан белгиланади. Давр ва частота ўзаро тескари катталик бўлганлиги учун қуидагиларни ёзиш мумкин:

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

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

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

Иккинчи томондан моддий нуқта  $t=T$  вақт ичидаги айланувчи 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 қуидагича 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 АЙЛНА БҮЙЛАБ ТЕКИС ҲАРАКАТИДАГИ ТЕЗЛАНИШИ

Жисм (моддий нуқта) айланы бүйлаб нотекис ҳаралат қилганда жисмнинг чизиқли тезлиги билан бурчак тезлиги ҳам ўзгаради. Шунинг учун чизиқли тезланиш  $\alpha$  каби бурчак тезланиш  $\epsilon$  (грекча эпсилон) тушунчасидан фойдаланилади.

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

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

Агар айлананың радиуси ўзгармас ( $R=const$ ) бўлса, бурчак тезликнинг ўзгариши фақат  $\Delta V$  чизиқли тезликнинг

уюзгариши ҳисобига бўлади, яъни  $\Delta V = R \Delta \omega$  дан  $\Delta \omega = \frac{\Delta V}{R}$  ни аниқлаб, (1) формулага қўйсак:

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

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

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

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

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

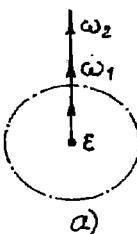
$S = V_0 t \pm \frac{at^2}{2}$  га асосланиб, бурчак тезлик ва бурилиш бурчак ифодалари күйидаги күринищда аниқланади:

$$\left. \begin{array}{l} W = W_0 \pm \varepsilon t \\ \varphi = W_0 t \pm \frac{\varepsilon t^2}{2} \end{array} \right\} \quad (4)$$

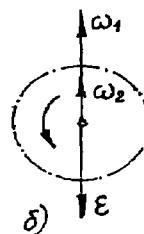
(4) формулада  $W_0$  — моддий нүктанинг бошланғич бурчак тезлиги.

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

Энди жисм айланы бўйлаб текис ҳаракат қилган ҳолдаги



a)



δ)

4.5-расм.

тезланишни аниқлайлик. Бундай ҳаракатда жисмнинг чизиқли тезлиги модули бўйича ўзгармас бўлиб, яъни  $|V| = \text{const}$ , чизиқли тезлик вектори  $V$ , йўналиши ўзгарувчан бўлади ва траекториянинг ҳар бир нүктасида айланага ўтказилган уринма бўйлаб йўналади. Демак,  $V$  тезлик йўналиши вақт ўтиши билан узлуксиз ўзгариб, тезланишни ҳосил қиласи.

тезланиш  $\vec{a} = \frac{\vec{V} - \vec{V}_0}{t} = \frac{\Delta \vec{V}}{t}$  формула ёрдамида аниқланади.

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

Айланана бўйлаб текис ҳаракат қилаётган жисм бошланғич  $t$  вақт моментида A нүктада, жуда кичик вақт ўтгандан сўнг вазиятни B нүктага ўзгартирилсин. Жисмнинг A нүктадаги тезлигини  $V_A$ , B нүктадаги тезлигини  $V_B$  билан белгилайлик (4.6-расм). A ва B нүкташардаги тезлик модуллари бир хил деб ҳисобланади.  $\Delta t$  вақт оралиғидаги тезликнинг ўзгаришини топиш учун  $V_B$  вектордан  $V_A$  вектор айрилади.

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

$$BC=V \text{ тенглиқдан } \frac{V\Delta t}{R} = \frac{\Delta V}{V}$$

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

Тезланиш эса

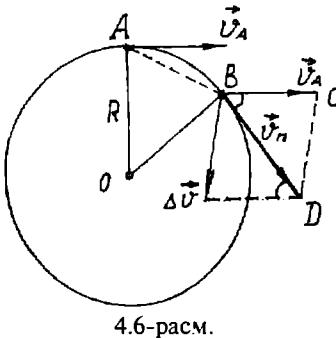
$$a = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{V^2 \Delta t}{\Delta t R} = \frac{V^2}{R} \quad (5)$$

ифода қўринишида 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 қўйидагича ифодалаш мумкин:

$$a_{mi} = \omega^2 R = \frac{4\pi^2 R}{T} = 4\pi^2 v^2 R \quad (6)$$



4.6-расм.

(6) формуладан күриниб турибдики, марказга интилма тезланиш айланы радиусига түғри пропорционал экан.

## 18-§. МАСАЛА ЕЧИШ НАМУНАЛАРИ

*1-масала.* Реактив самолёт 720 км/соат бошланғич тезлик билан учмоқда. Ҳаракатнинг бирор моментидан бошлаб 10 с давомида 10 м/с<sup>2</sup> тезланиш билан ҳаракат қилса, охирги 1 с.да қанча масофани учиб ўтади ва охирги 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 тенгламасидан  $t$  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:

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

$$S_1 = V_0 t + \frac{at^2}{2} - V_0 t + V_0 t_1 + att_1 - \frac{at^2}{2} - \frac{dt_1^2}{2},$$

$$S_1 = V_0 t_1 + att_1 - \frac{at_1^2}{2} = 200 \frac{\text{м}}{\text{с}} \times 1 \text{ с} + 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \times 10 \text{ с} \times 1 \text{ с} -$$

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

Охирги тезликтекис 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.**  $S_1 = 295 \text{ м}; V_1 = 300 \text{ м/с.}$

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

Ечиш. Масала ечишда эскалаторнинг тушиш бўйича умумий узунлиги 1 деб олинади. У ҳолда умумий узунлик бўйича

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

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

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 мүмкін.

(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

$$\frac{V_2 l K + V_1 l K}{V_1 l} = \frac{V_2 l f + n V_1 l f}{n V_1 l} \text{ деб ёзиш мүмкін,}$$

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

$V_2^2 K n - V_2 f + V_2 f n - V_1^2 K n$ ,

$V_2^2 (K n - 1) = V_1^2 n (f - K)$ ,

эскалатор тезлиги

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

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 ёзсан,

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

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

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

Берилган:

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

$$S = 350 \text{ м}$$

$$V_t = 0$$

Топиш керак:

$$a = ?; t = ?$$

Ечиш. Охирги тезлик  $V_t = 0$  бўлганлиги сабабли ҳаракат текис секинланувчан бўлади.

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

топилади.

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

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

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

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

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

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

Ечиш. Жисм вертикал юқорига отылганда, жисмнинг эркин тушиш тезланиши вертикал равищда пастга 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 кўйиб, 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 оҳирги  $h=196 \text{ м}$  йўлни  $t_i=4 \text{ с.да}$  ўтган бўлса, жисмнинг эркин тушиш вақти  $t$  ва тушиш баландлиги  $h$  топилсин.

Берилган:

$$g=9,8 \text{ м/с}^2$$

$$t_i=4 \text{ с.}$$

$h_1=196$  м

Топиш керак:

$t=?$ ;  $h=?$

Ечиш. 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:

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

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

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

Жавоб.  $t=7$  с;  $h=240,1$  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.

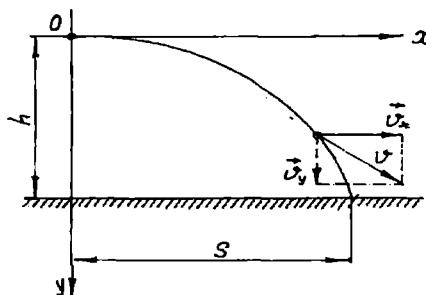
Бир неча содда ҳаракатлардан иборат бўлган ҳаракат мураккаб ҳаракат деб аталади. Бундай ҳаракатда жисмнинг ҳаракат траекторияси тўғри чизик ёки эгри чизикдан иборат бўлиши мумкин.

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 мүмкін. Бу ҳаракатларни алоҳида-алоҳида кўриб чиқайлик.

### 1. Горизонтал отилган жисм ҳаракати.

Ер сиртидан горизонтал отилган жисм иккита ҳаракатда иштирок этади, яъни горизонтал йўналишилди 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  $h$  баландлиқдан 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.

Жисмнинг Ерга тушиш нуқтасидаги тезлигини аниқлаш учун  $V_x = V_0$  ва  $V_y = gt$  эканлиги ҳисобга олинса, умумий тезликни қўйидаги кўринишда ёзиш мумкин:

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

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

2. Горизонтал ташкилдан маълум бурчак остида отилган жисм ҳаракати.

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

Горизонтал ташкил этувчи сифатида бошлангич  $V_0$  тезликни  $V_x$  билан, вертикаль ташкил этувчи сифатида  $V_y$  жисмнинг эркин тушиш тезлакнишили текис

$\vec{v}_0$

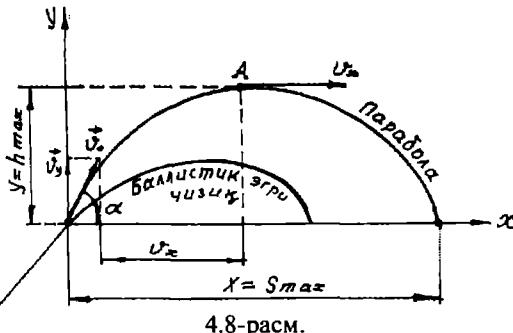
узаравчани ҳаракатнинг оний тезлиги қабул қилинади.  $V_x$  — горизонтал текис ҳаракат тезлиги. Расмдан  $V_x$  ва  $V_y$  ташкил этувчи тезликлар қўйидаги кўринишда аниқланади:

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

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

Тезлик векторининг координата ўқларидаги проекциялари

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



4.8-расм.

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

ҳаракат тенгламалари эса

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

күринишида ифодаланади.

(3) тенгламанинг биринчисидан вақтни

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

орқали ифодалаб, моддий нуқтанинг ҳаракат траекторияси 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-  
бала 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

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

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

У ҳолда

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

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

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

Шундай қилиб, снаряд учун қуийдаги тенгламаларни топдик:

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

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

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

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

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

Реал ҳолатларга жисмга ҳавонинг қаршилиги таъсир этиб, ҳаракат тезлигини камайтиради, натижада жисм траекторияси параболадан фарқ қилиб, пасайиш қисми тикроқ бўлган баллистик эгри чизиқдан 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 охиридағи чизиқли тезликлари нисбати қандай бўлади?

Ечиш. Секунд кўрсаткичи бир марта айланиб чиқиши учун 1 минут ( $\pi=1$  айл./мин) сарф қилгандаги чизиқли тезлиги  $V_0 = 2\pi R n$  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

$$V_m = 2\pi R n_1$$

бўлади.

$$\text{У ҳолда } \frac{V_c}{V_m} = \frac{2\pi R n}{10\pi R n_1} = \frac{2 \times 1}{10 \frac{1}{60}} = \frac{2 \times 60}{10} = 12.$$

**Жавоб.** 12

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

Берилган:

$$\phi = 45^\circ$$

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

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

$$\text{T.к. } V_\phi - ? \quad a_\phi - ?$$

$$V_\phi - ? \quad a_\phi - ?$$

Ечиш. Экваторда нуқтанинг чизиқли тезлиги айланиш давари  $T$  ва айланиш радиуси  $R$  билан қўйидагича боғланган:

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

марказга интилма тезланиши эса

$$a_\phi = \omega^2 R \quad (2)$$

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 мұлоҳазаларға ассо slаниб  $45^\circ$  кенглиқдаги қизиқти тезлікни

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

марказга интилма тезланишни эса

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

формула асосида аниқлаш мүмкінлегінше ишонч ҳосил қилинади. Энди ҳисоблашларни амалға оширамиз:

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

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

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

$$1. \frac{\sqrt{2}}{2} = 465 \times 0,7 \frac{m}{c} = 325,5 \frac{m}{c}$$

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

*Жағоб.*  $V = 465 \text{ м/с}; a = 0,034 \text{ м/с}^2$   
 $V_\varphi = 325,5 \text{ м/с}; a_\varphi = 0,0238 \text{ м/с}^2$

*3-масала.* Ернинг Қүёш атрофидаги ҳаракатининг қизиқти тезлігі топилсин. Ер ва Қүёш орасидаги масофа  $1,5 \cdot 10^{11}$  м деб олинсін.

Берилган:

$$R=1,5 \cdot 10^{11} \text{ м}$$

Топиш керак:

$$V?$$

Ечиш. Ер Қүёш атрофида 1 йилда 1 марта айланиб чиқишини ҳисобга олсак, айланиш даври

$$T=365,25=365,25 \times 24 \times 60 \times 60 \text{ с} = 31,56 \times 10^7 \text{ с} \text{ бўлади.}$$

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

$$V = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1,5 \cdot 10^{11} \text{ м}}{31,56 \cdot 10^7 \text{ с}} = 2,99 \cdot 10^4 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 29,9 \frac{\text{км}}{\text{с}}.$$

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 топилсин. Ушбу баландликдаги жисмларнинг эркин тушиш тезланиши  $9,2 \text{ м/с}^2$  деб олинсин.

Берилган:

$$g=9,2 \text{ м/с}^2$$

$$h=200 \times 10^3 \text{ м}$$

$$R_{cp}=6400 \text{ км}$$

Топиш керак:

$$V?; a?$$

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

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

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

Сунъий йўлдошнинг айланиш даври  $V = \frac{2\pi R}{T}$  формула-  
да  $T = \frac{2\pi R_{\alpha}}{V}$  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 қиласы деб, Ойнинг Ер орбитасидаги чизиқли тезлиги ва марказга интилма тезланиши топилсун. Ер орбитаси 385000 км, Ойнинг орбита бўйича айланиш даври 27,3 сутка деб олинсин.

**Берилган:** Ечиш. Ойнинг Ер орбитасидаги чизикли тезлиги;

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

T=27,324 6060c

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

V-? a-?

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

$$a = \frac{(1,02 \times 10^3)^2 \frac{M}{c^2}}{3,85 \times 10^8 M} = 2,73 \times 10^{-3} \frac{M}{c^2}.$$

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

$$h=25 \text{ m}$$

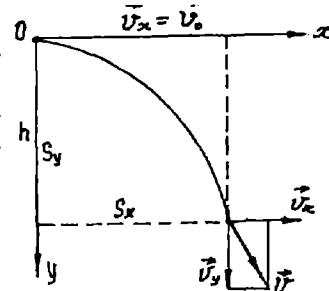
Ечиш. Горизонтал отилган жисмнинг учиш масофаси  $S$  ни иккита горизонтал  $S_x$  ва вертикал  $S_y$  ташкил этувчилиарига ажратамиз (4.9-расм).

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

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

Тошнинг ҳаракат вақти вертикал учиш тенгламасидан топилади:

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



4.9-расм.

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

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

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

Жисмнинг ерга урилиш тезлиги

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

**Жавоб.**  $t=2,28 \text{ c}; S_x=22,8; V=24,3 \text{ м/с}.$

7-масала. Горизонтта нисбатан  $\alpha=45^\circ$  остида  $V_0=12 \text{ м/с}$  бошланғич тезлик билан отилган тошнинг күтарилиш баландлиги  $h$ , учиш вақти  $t$  ва учиш масофаси  $S_x$  топилсин (4.10-расм).

Берилган:

$$\alpha=45^\circ$$

$$V_0=12 \text{ м/с}$$

$$g=9,8 \text{ м/с}^2$$

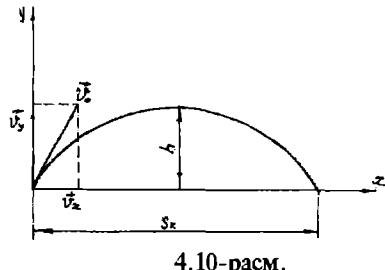
фаси

Ечиш. Горизонтта нисбатан бурчак остида бошланғич тезлик билан отилган тошнинг  $t$  вақтдан кейинги тезлиги  $V$  нинг вертикаль ташкил этувчи  $V_y$  ва вертикаль силжи масо-күйидаги тенгламалардан топилади:

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

Тош ҳаракат траекторияси таңынг энг юқори нүктасида  $V_y=0$  ва  $S_y=h$  бўлганини учун (1) ни қўйидагича ёзиш мумкин:

$$V_0 \sin \alpha = gt; \\ V_0 \sin \alpha \times t - \frac{gh^2}{z}. \quad (2)$$



4.10-расм.

Тошнинг күтарилиш

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

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

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

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

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

дан икки марта бўлганлиги учун

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

Тошнинг учиш масофаси

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

*Жаъоб. h=3,67м; t=1,71с; S<sub>x</sub>=14,9*

## **21- §. ДИНАМИКА АСОСЛАРИ. НЬЮТОННИНГ БИРИНЧИ ҚОНЫНИ**

Шу пайтгача механик ҳаракатни ўрганишда жисм ҳаракатининг тезлиги ва тезланишини асос қилиб олдик. Лекин нима сабабдан тинч турган жисм ҳаракат қиласи, нима учун жисмнинг ҳаракати тўғри чизиқли текис ҳаракат ёки текис ўзгарувчан ҳаракат, жисм нима сабабдан айланма ҳаракат қиласи 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 ўрганувчи механиканинг бўлими динамика дейилади

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

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

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

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

Буюк инглиз олим Исаак Ньютон ўзидан аввал яшаб ижод этган олимларнинг ишларини ўрганиб, уларни умумлаштири 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, шоҳ бекатда ҳаракатиз турган автомобиль, бинолар ва бошқалар. Буларнинг ҳаммаси Ернинг ўз ўқи атрофидаги ва Қуёш атрофидаги ҳаракатида иштирок этсада, биз бу ҳаракатни сезмаганимиз туфайли жисмлар тинч турибди, деймиз, демак тинчлик ҳам нисбий.

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

Ёки автобуснинг тезлиги бирданига ортирилса, йўловчи ўриндиқقا «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 чизиқли текис ҳаракати қандай саноқ системасига нисбатан аниқланишини кўриб чиқайлик.

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

Механиканинг динамика қисмида эса саноқ система-лари ўртасида маълум фарқ бўлади.

Мисол тариқасида бир-бирига нисбатан бирор тезланиш билан ҳаракат қилаётган икки саноқ системасини күриб чи-қайлик. Саноқ системаларидан бирига 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 дейиллади. Бирорта инерциал саноқ системасига нисбатан доимий тезлик билан ҳаракатланаётган ҳар қандай система ҳам инерциал бўлади.

Мисол учун, шох бекатда тўхтаб турган пассажир поезди вагонидаги стол устида турган теннис коптогини ғлайлик. 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 бурилаётганда ён томонга ҳаракатланади. Демак, инерция қонуни барча саноқ системаларида бажарилавермайди. Саноқ системасини тўғри танлаб олиш керак. Инерциал саноқ системасини етарлича аниқлиқда Ерга нисбатан танлаб олиш мумкин.

Маълумки, инерция қонуни фақат Ер шароитидагина бажарилади.

Ер ўз ўқи атрофида ва Күёш атрофида айланишини ҳисобга олиб, Ер билан боғлиқ бўлган саноқ системаси қўзғалмас 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  $R = 6400$  км =  $6,4 \times 10^6$  м, айланиш даврини  $T = 24$  соат =  $24 \times 60 \times 60 = 86400$  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 солишиштирсак:  $\frac{g}{a} = \frac{9,8 \text{ м/с}^2}{0,03 \text{ м/с}^2} = 327$  мар-

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

Хулоса қилиб, Ньютоннинг биринчи қонунининг математик ифодасини қўйидаги кўринищда ёзамиш:

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

## 22-§. ЖИСМЛАРНИНГ ИНЕРТЛИГИ ВА МАССАСИ

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

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

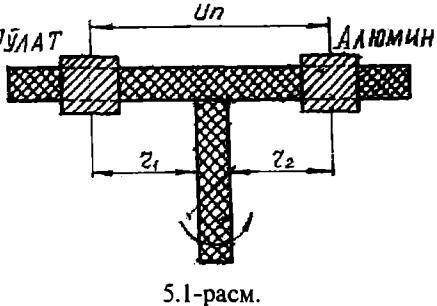
бўйича 3 марта ортиқ бўлади. Жисмларнинг ўзаро тўқнашиши натижасида олган тезланишларини ўлчаш анчагина қийин масала, чунки ўзаро тўқнашиш вақти қисқа бўлади. Аммо ўзаро таъсир қилувчи жисмларнинг айланма ҳаракати натижасида юзага келувчи марказга интилма тезланишларни ўлчаш мумкин. Бунинг учун ўлчамлари бир хил бўлган алюминий ва пўлат цилиндр олиниб, ўқлари бўйича тешилган тешикларидан 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 ( $\alpha=4\pi^2v^2r$ ) билан ҳаракат қиласди.

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



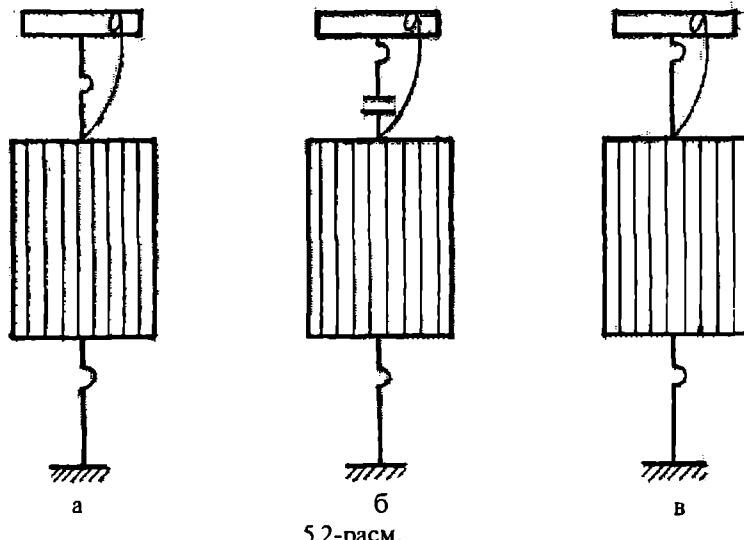
5.1-расм.

(цилиндрлар) ўзаро таъсиrlаниш вақти бир хил бўлғанлиги сабабли, тезланиши каттaroқ бўлған жисмнинг тезлиги кўпроқ ўзгаради деган холосага келамиз.

Демак, жисмнинг тезлиги бошқа жисмлар билан ўзаро таъсиrlашганда 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 таъсиrlашганда жисм тезлигининг ўзгариши учун маълум вақт керак бўлади.

Жисмларнинг инертлик хоссасини аниқлаш учун ингичка ипга металл цилиндр осиб, унинг остига худди шундай 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, тортувчий кўл билан ип орасидаги ўзаро таъсиr узоқроқ вақт давом этади ва цилиндр шундай тезликка эришадики, натижада цилиндрнинг кўчиши тарангланган ипнинг юқоридан узилиши учун етарли бўлади.

Иккинчи ҳолда ип кескин тортилганда, кўл билан ипнинг ўзаро таъсиrlашиш вақти жуда қисқа бўлиб, цилиндр



5.2-расм.

ўз тезлигини ўзгартиришга улгура олмайды ва ип юқори қисмда узилмайды, чунки цилиндрнинг инертилиги катта. Пастки қисмнинг инертилиги кам бўлганлиги сабабли ипни пастки қисмда тезлик ўзгаради ва ип узилади.

**Жисм инертилиги 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 инертилиги орқали ўлчаш нокулай бўлганлиги сабабли, масса жисмнинг тезланишларини ўлчаш орқали аниқланади.

Жисмларнинг инертилиги 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 модулларининг нисбати улар массалари нисбатининг тескарисига тенг экан.

Юқоридаги тажрибаларга асосан алюминий цилиндрнинг массаси пўлат цилиндрнинг массасидан уч марта кичик, деган хulosага 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  $a_{\text{эт}}$  — этalon массаси ва этalon 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,  $15^{\circ}\text{C}$  ҳароратда 1 литр ( $\text{dm}^3$ ) тоза сувнинг массаси 1 кг бўлади.

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

М массали жисмга  $P = mg$  оғирлик кучи таъсири 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 катталик. Оғирлик эса вектор катталик ва бу вектор катталик эркин тушиши тезланиши йўналишида Ернинг маркази томон йўналган бўлади.

## 23-§. КУЧ. НЬЮТОННИНГ ИККИНЧИ ҚОНУНИ

Табиатан тинч турган ёки тўгри чизиқли текис ҳаракат қилаётган эркин жисм бошқа жисмлар билан таъсирилашганда динамиканинг биринчи қонунига кўра ўз ҳолатини ўзгартиради, аммо 1 қонун бу ўзгариш сабабларини очиб бера олмайди. Тинч турган жисмни бошқа жисм таъсири натижасида ҳаракатга келтирилса, жисм тезлиги нолдан маълум миқдорга ўзгариади. Тезликнинг ўзгариши натижасида жисм тезланиши ҳаракат қиласи. Жисмларга бериладиган тезланишнинг сабабчиси кучдир.

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

Куч жисмнинг тезланиш олишига сабаб бўлади, деган хуносави кучнинг меҳиятини тўла ифодалаб бермайди, чунки жисм куч таъсирида деформацияга учраб, ўз шаклини ёки ҳажмини ўзгартиради. Масалан, металдан ясалган пружина ёки ҳаво тўлдирилган шар ташки 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 айнан teng бўлган таянч (реакция) кучи таъсири 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.

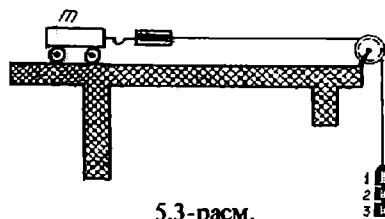
Физиканинг механика бўлимидаги эластиклик кучи, оғирлик кучи ва ишқаланиш кучлари ўрганилади. Бу кучлар ҳақида кейинги параграфларда батафсил тўхталиб ўтамиш.

Энди Ньютоннинг иккинчи қонунини таҳлил қилишга ўтамиш. 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 кўйида келтирилган тажрибаларни ўрганиб тушунтириш мумкин:

**1-тажриба:** а) горизонтал ўрнатилган столнинг силлиқ сиртига аравача ўрнатамиш. Аравачанинг бир томонига ўрнатилган илгакдан ип билан динамометр боғлаб, динамометрнинг иккинчи учини ип орқали столнинг охирига ўрнатилган вазинсиз блоқдан ўтказиб, унинг учига тарози тошлари кўйиш учун паллача ўрнатамиш (5.3-расм).

Аравачанинг массасини ўзгартирмасдан ( $m=const$ ), тарози паллачасига тоц кўйиб, аравачани ҳаракатга келтирамиз. Унинг бир хил вақт оралифида 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 қўйидаги хulosага келамиз: ўзгармас массали аравачанинг ҳаракат тезланиши унга таъсир қўлиувчи кучга тўғри пропорционалдир

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

**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 иккита-сини, 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 тескари пропорционал экан

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

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

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

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

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

Халқаро бирликлар системасида пропорционаллик коэффициенти  $k=1$  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. Тәъриф: Жисмнинг бошқа жисм билан ўзаро таъсиралиши натижасида олган тезланиши унга таъсир қылаёттган күчгә тұғри пропорционал ва унинг массасына тескари пропорционал.

Ньютоннинг иккинчи қонунидан жисмга таъсир этувчи күч  $F=ma$  қуидаги формула ёрдамида топилади:

Жисмга таъсир этувчи күч жисм массасининг шу күч берган тезланиш күпайтмасыга тең.

Ньютоннинг иккинчи қонунидан фойдаланиб, халқаро бирликлар системасида күч бирлигини аниқтайлып, массаси  $m=1$  кг бўлган жисмга күч таъсири йўналишида  $1 \text{ m/s}^2$  тезланиш берувчи күч қиймати қабул қилиниб, бу күч бирлигига ньютон ( $N$ ) дейилади.

$$1 N = 1 \text{ kg} \times 1 \text{ m/s}^2 = 1 \text{ kg m/s}^2$$

Ньютоннинг иккинчи қонуни хulosалари:

1. Күч жисм тинч ҳолатда ёки ҳаракат ҳолатида, бўлишидан, қатъи назар күч таъсирида жисм тезлиги ўзгариб, тезланиш ҳосил бўлади.
2. Жисм текис тезланувчан ҳаракат қилганда, күч ва тезланиш ўзгармас бўлади ( $F = \text{const}$ ,  $a = \text{const}$ ).
3. Жисмга бир неча күч таъсир этса, у ҳар бир күч йўналишида худди бошқа күчлар таъсир этмагандек, майдум тезланишга эга бўлади (кучларнинг мустақиллик принципи)

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

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

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

## 24-§. НЬЮТОННИНГ УЧИНЧИ ҚОНУНИ

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

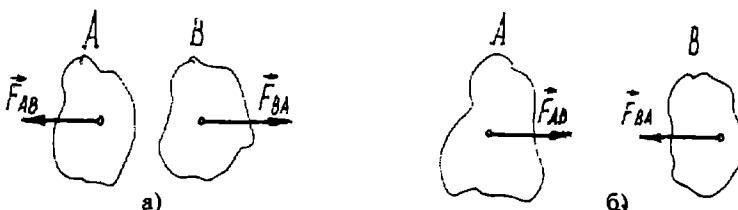
Биринчи қонунга күра бирорта жисмга бошқа жисм таьсир қылмагунча (дастлабки вазиятидан чиқармагунча) узининг нисбий тинч ҳолатини ёки түгри чизиқли ва текис ҳаракатини сақтайди.

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

Биринчи қонун ҳам, иккинчи қонун ҳам жисмлар ўзаро таъсирашганда, иккинчи жисм таъсирининг моҳиятини очиб бермайди. Бу саволга Ньютоннинг учинчи қонунидан жавоб топганиз. Икки жисм ўзаро таъсирашганда 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 (AB) таъсирашганда икки куч вужудга келади ва бу қуллар шу жисмларнинг ҳар бирига қўйилган бўлади;

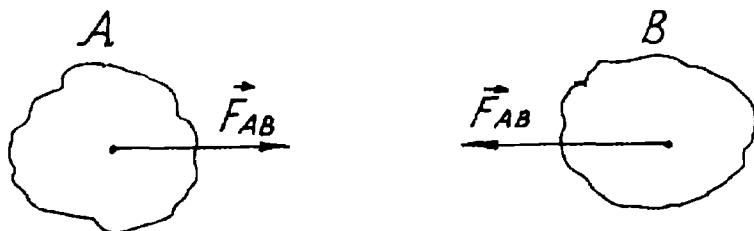
2) бу күчлар бир түгри чизик бүйлаб қарама-қарши томонга йуналған бўлади;

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



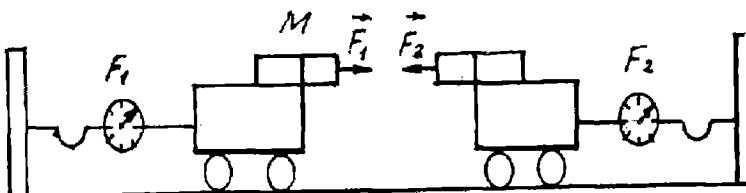
5.4-pacM.

Мисол учун, силик горизонтал қолатда турган таҳта устига иккита бир хил аравачаларни ўрнатиб, аравачаларнинг биринчисининг устига магнит, иккинчисининг устига темир парчасини жойлаштирамиз. Аравачалар эса иккита бир хил динамометрлар орқали таҳтачанинг четки қисмларига вертикал қолатда маҳкамланган устунчаларга бириктирилади. Тажриба 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 күч билан ўзи томонга тортса темир парчаси ҳам магнитни шундай күч билан ўзи томон тортади.



5.6-расм.

Биз столнинг четки қисмига кафтишимиз билан боссак, кафтишимиз қизариб чуқурча ҳосил бўлади, бунда қўлимизнинг таъсири кучига (босим) кучи стол қирғоги ҳам у шундай күч билан таъсири этади (бу күч таъсирини кафтишимизда ҳосил бўлган оғриқ орқали сезамиз).

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

Кучларнинг ўзаро тенглигидан:

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

са

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

Жисмлар ўзаро таъсирашганда кучларни алоҳида-алоҳида жисмларга қўйилишини эътиборга олишни таъкидаймиз, чунки бу кучлар бир-бирини мувозанатламайди. Холоса қўлиб, Ньютоннинг таърифини берамиз: **Ҳар қандай икки жисм бир-бирига сон жиҳатидан тенг ва битта тўғри чизик бўйлаб қарама-қарши томонга йўналган кучлар билан таъсири қиласди.**

Ньютон ўзаро таъсири кучларидан бирини таъсири, иккичисини эса акс таъсири деб номланган. Бундай номлаш шартли бўлиб, аслида ҳар иккала кучнинг табиати бир хил бўлади. Шунинг учун учинчи қонун қўйидагича ҳам таърифланади: **Таъсири доим акс таъсирига тенг ва қарама-қарши йўналган ёки икки жисмнинг таъсири бир-бирига тенг ва қарама-қарши томонга йўналган.**

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

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

жини вақтга кўпайтирсак, жисм массалари билан тезликлари орасидаги боғланиш келиб чиқади

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

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

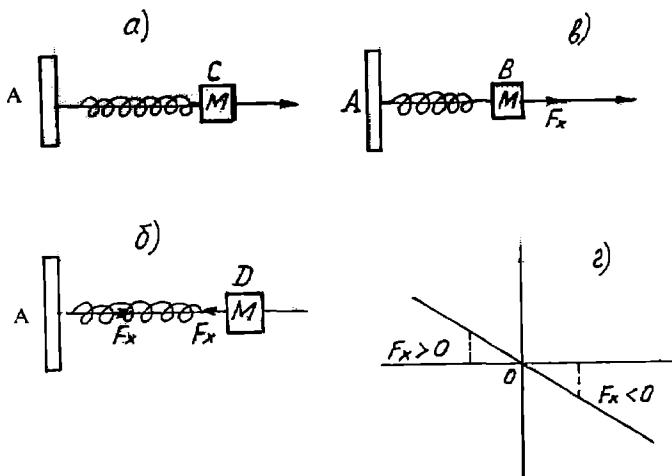
## 25-§. ЭЛАСТИКЛИК КУЧИ. ГУК ҚОНУНИ

Табиатда кучлар ўз хусусиятига кўра хилма-хил бўлсада, 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 келади-ган 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  $\hat{A} \neq \hat{B}$  ёки  $\hat{C} \neq \hat{D}$  2) ташқи куч таъсири тўхтагандан кейин ҳам деформация йўқолмаса, **пластик (қолдиқ) деформация** 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 қиласи. Жисм чўзилганда унинг зарралари орасида тортишиш кучлари, сиқилганда эса ўзаро итариш кучлари ҳосил бўлади. Бу кучлар ички кучлар бўлиб, жисмнинг ҳажмини ва шаклини ўзгаришишга қаршилик қиласиди. Ўзаро тортишиш  $F_1$  ва итарилиш  $F_2$  кучларининг тенг

таъсир этувчиси қўшни молекулалар г орасидаги масофаға молекулаларнинг бири координата бошида, иккинчиси эса ундан г масофада жойлашган. Мувозанат вазияти  $r_0$  масофаға 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.

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

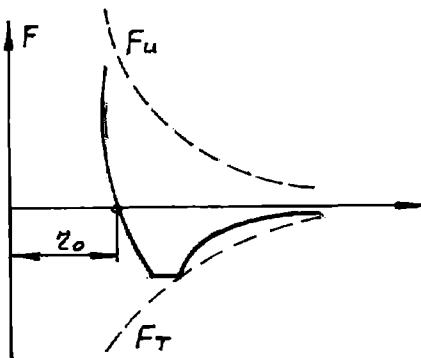
Эластиклик кучлари деформацияга учровчи жисмнинг кўндаланг кесим юзасига, шунингдек, жисм билан туташиб (контакт) жойига таъсир этиб, жисмни деформацияга учратади. Эластиклик кучининг муҳим хусусияти, уўзаро таъсир этувчи жисмларнинг уриниш сиртига тик йўналишда бўлишидир.

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

Инглиз физиги Ньютоннинг сафдоши Роберт Гук эластик деформацияга учраган жисмнинг бир томонлама чўзилишидаги (сиқилишидаги) деформациясининг эластик куч билан боғланишини аниклаб, 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 коэффициенти бўлиб, жисмнинг бирлигини ифодалайди. Бирлиги Ньютон тақсим метр ( $\text{Н}/\text{м}$ ).

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



5.8-расм.

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

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

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

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

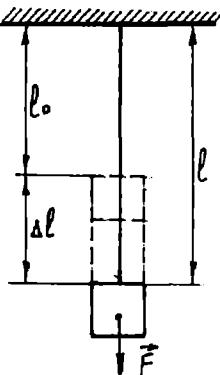
(5.7-расм, в). Расмдан кўриниб турибдики, пружина чўзилганда ҳам, сиқилганда ҳам эластиклик кучи ҳосил бўлиб, унинг йўналиши доимо мувозанат вазиятни ифодаловчи С нуқта томон йўналган бўлади:

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

Эластиклик кучи билан X узайиш графиги координата бошидан ўтувчи түғри чизикдан иборат.

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

Пўлат сим ташки куч таъсирида қисман чўзилади, лекин шу вақтнинг ўзида ташки куч йўналишига қарши бошланғич узунликни тикловчи эластиклик кучи вужудга келади, яъни:



5.9-расм.

$$F_{\text{ж}} = - F. \quad (4)$$

Лекин қүйилган күчнинг стерженга таъсири механик кучланишга боғлиқ (5.9-расм). Механик кучланиш (Эўриқиши) деб, стерженнинг бир бирлик кесим юзига тик равища таъсир этувчи кучга айтилади ва σ сигма ҳарфи билан белгиланаиди.

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

бирлиги Паскаль (Па).

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

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

Бу формулада ε (эпсилон) нисбий узайиши; Δl — абсолют узайиши; Δl = l - l<sub>0</sub>.

Деформация вақтида стержен узайса ε > 0, сиқилса ε < 0 бўллади, яъни мос равища чўзилиш ва сиқилиш деформациялари амалга ошади. Тажриба асосида механик кучланишнинг нисбий узайишига 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 фэрмуладан аниқлаш мумкин:

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

(5) formulani (8) formulaga қўйсан, Юнг модули учун қуидаги формула келиб чиқади:

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

Энди Юнг модули Енинг 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 катталикка айтилади, яъни  $\epsilon = 1$ ,  $F = 2l_0$  бўлиши учун  $\Delta l = l_0$  тенг бўлиши керак, у ҳолда  $\sigma = E$  келиб чиқади.

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

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

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

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

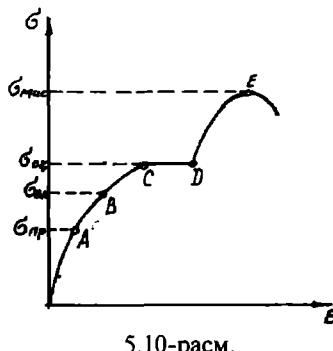
дан топилади.

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 равищда тасвирлаб, чўзилиш диа-граммаси берилади.

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

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



5.10-расм.

эластиклик хусусиятини маълум миқдорда сақлади. В ҳолатга мос келган  $\sigma_{\text{н}}$  кучланиш эластиклик чегараси дейилади. В қисми кичик бўлганлиги сабабли амалда  $\sigma_{\text{п}} = \sigma_{\text{н}}$  дейиш мумкин.

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

Диаграмманинг СД қисмидаги ортмаса ҳам деформация ўз-ўзидан ортиб боради ва С нуқтадаги  $\sigma_{\text{ок}}$  кучланишини окувчанлик кучланиши, чегарани эса оқиши чегараси дейилади. Бу соҳада график деярли горизонтал бўлади. Д нуқтадан бошлаб эластиклик кучлари яна орта бошлайди. Стержень яна деформацияланади ( $\sigma > \sigma_{\text{ок}}$ ) ва деформация  $\sigma_{\text{муст}}$  кучланишгача давом этади.  $\sigma_{\text{муст}}$  кучланишга кучланишнинг мустаҳкамлик чегараси дейилади.

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

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

Бу деформация турлари соғ ҳолда учрайвермайди, улар бир неча соддэ турдаги деформацияларга қелтириб ўрганилади.

Масалан, стерженинг 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 қиласи, шунингдек, нима сабабдан жисмларининг 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 мuloҳазаларига таяниб қуйида-  
гича жавоб берди: 1) барча жисмлар Ерга тортилиши нати-  
жасида Ерга тушади. Ҳар қандай жисм Ер сиртида бўлса,  
албатта, унга Ернинг тортишиш кучи таъсир этиши билан  
бир қаторда жисм ҳам Ерни шундай куч билан тортади. 2)  
Ойнинг айланма орбита бўйича ҳаракат қилишини аниқла-  
ди. Маълумки, Ер сиртида эркин тушиш тезланиш  $g=9,8$

$\frac{V^2}{R}$  м/с<sup>2</sup> га тенг. Марказга интилма тезланишни  $a = \frac{V^2}{R}$  форму-  
ладан топиш мумкин. Ой айланшининг чизиқли тезлиги

$V = \frac{2\pi R}{T}$  ҳисобга олинса,  $a = \frac{4\pi^2 R}{T}$  бўлади. Ой Ер марка-  
зидан 385000 км масофада бўлиб, бу масофа Ер радиусидан  
60 марта катта (Ер радиуси 6380 км) Ойнинг Ер атрофини  
айланни чиқиш даври тахминан  $T_{oi} = 27,3$  сутка эквалигини  
ҳисобга олсан:

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

Демак, Ер сиртида турган жисмга нисбатан Ойнинг мар-  
казга интилма тезланиши  $1/3600$  кичик экан, яъни тортишиш  
кучи 3600 марта кам бўлар экан. Ой орбитаси радиусининг  
квадрати Ер радиусининг квадратига нисбатан 3600 га тенг:

$$\frac{R^2}{R^2_{E_p}} = \frac{(60R_{E_p})^2}{R^2_{E_p}} = 3600$$

Шундай қилиб, Ойнинг Ерга тортишиш кучи улар ора-  
сидаги масофа квадратига тескари пропорционал бўлиши  
келиб чиқади

$$F_o \sim \frac{1}{R^2_o}.$$

Юқорида келтирилган далилларга асосланиб. Ньютон  
қуйидаги холосага келди:

$$F_{\text{ой}} \sim m_{\text{ой}};$$

$$F_{\text{ой}} \sim m_{\text{еп}};$$

$$F_{\text{ой}} \sim F_{\text{еп}};$$

$$F_{\text{еп}} \sim m_{\text{еп}};$$

$$F_o \sim \frac{1}{R^2_o}$$

$$F_{\text{ой}} \sim \frac{m_o \cdot m_{\text{еп}}}{R^2_o},$$

бундан тенглик белгисига ўтсак

$$F = G \frac{m_o \cdot m_{\text{еп}}}{R^2_o}$$

Кейинчалик Ньютон ўзи аниқлаган формула ёрдамида жисмнинг ўлчамлари улар орасидаги масофага нисбатан жуда кичик бўлган исталган жисмларнинг ўзаро тортиш кучини ҳисоблаш мумкин деганояни 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 қарашиб мумкин бўлган), бир-бираига ўзаро туташтирувчи тўғри чизик бўйлаб йўналган, уларнинг массалари кўпайтмасига тўғри ва улар орасидаги масофанинг квадратига 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 куйидагича:

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

Айтайлик, массалари 1 кг дан бўлган икки жисм бирбиридан 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

еканлигини исбот қилди ва гравитацион доимийсини тажрибада аниқлади. Кавендиш тажрибасининг схемаси

5.11-расмда көлтирилган. Иккита бир хил массали стерженга шарлар ўрнатилган бўлиб, стерженнинг ўртасидан ингичка эластик иш ёрдамида кўзгу орқали осмага маҳкамланган. Стерженга

ўрнатилган шарлардан бирига В шар яқинлаштирилганда гравитацион тортишиш куч таъсирида стержендаги шарни ҳаракатга келтириб, ипни бурилишига 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 Ньютоннинг жисмларнинг бир-бира гравитацион таъсирини исботлабгина қолмай, жуда яхши аниқликда қуйидаги катталикларни ( $F$ ,  $m$ ,  $t$ ,  $r$ ) ўлчади ва гравитацион доимийсининг сон қийматини ҳисоблаб чиқди.

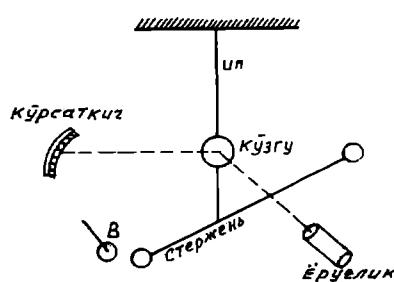
$$G = (6,720 + 0,0041) 10^{-11} \text{ Нм}^2 / \text{кг}^2 \quad \text{ёки}$$

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

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

Маълумки, бутун олам тортишиш қонуни асосан бир тўғри чизикда жойлашган жисмлар учун келтириб чиқарилган (Куёш ва планеталар ҳаракати мисолида). Сизларга эслатма сифатида қуйидаги маълумотларни берамиз: Ҳар 800 йилда бир марта Ер, Марс ва Юпитер планеталари бир тўғри чизикда жойлашади. Бу куни дунёга машҳур кишилар туғилганлар: Искандар Зулқарнайн (Александр Македонский), ўзбек халқининг буюк саркардаси Соҳибқирон Амир Темур ва дунёning охирги пайғамбари Мұҳаммад Мустафо (Алайхиссалом).

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



5.11-расм.

дунёга энг машхур кишилар келишади (охирги түғри чи-зиққа түғри келиш 1999 йилда кузатилди)

Мазкур инсонларни бу күнларда 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, узоклашганда эса кучсизланаб боради. Майдон таъсири жисм массасига боғлиқ, жисм массаси ортиб бориши билан тортишиш майдони таъсири ортиб боради. Бу майдоннинг ажойиб хусусияти моддалардан поэрон (текис) ўтишdir. 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-§. ОФИРЛИК КУЧИ ВА ЖИСМНИНГ ВАЗНИ. ВАЗНСИЗЛИК

Ер сирти яқинида жойлашган 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:

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

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

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

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

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 мувозанатлашади.

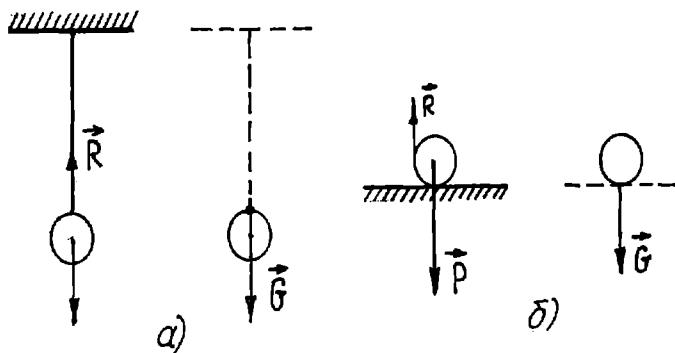
Мазкур жисм динамиканинг учинчи қонунига кўра осмага ёки таянчга  $G$  куч билан таъсир қиласи ва унга жисмнинг вазни деб аталади.

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  $F_x = kx$  таъсир этади. Жисм эркин тушиш тезланишга нисбатан тик йўналишда юқорига ва пастга ҳаракат

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



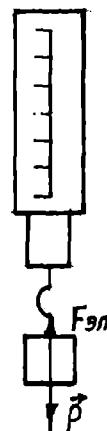
5.12-расм.

Бунда жисм вазни тенг бўлади ва  $mg - ma = -F_{\text{нл}}$  муносабати ёзиш мумкин. Демак,  $P = m(g-a)$ , бу ҳолда,  $P$  ва  $F_{\text{нл}}$  кучлари тик равишда йўналган жисмнинг олган тезланиши эркин тушиш тезланиши каби пастта йўналган бўлса,  $P = m(g-a)$  формула ўринли бўлиб, жисмнинг тинчликдаги вазнидан жисм вазни кам бўлади. Агар жисмнинг тезланиши эркин тушиш тезланишига қараша-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.

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.



5.13-расм.

Вазнисизлик ҳолатида жисмга фақат оғирлик күчи таъсир этади ва куч жисмга гөреккөнүш беради. Бу ҳолатда жисм зарралари бир хил тезланиш билан ҳаракат қылганы учун деформацияга учрамайды. Демак, вазнисизлик ҳолатида жисм деформацияга учрамайды. Вазнисизлик ҳолати космик кема двигатели ишдан түхтаб, Ер атрофида ҳаракат қилаётганды намоён бўлади.

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

## 28-§. МАСАЛА ЕЧИШ НАМУНАЛАРИ

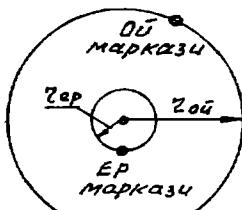
*1-масала.* Ой ва Ер орбиталарининг радиуслари маълум бўлганда Ой ва Ернинг массаларини таққосланг.

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

Берилган:  
 $r_{ep} = 4700 \text{ км}$   
 $r_{oi} = 380000 \text{ км}$

Топиш керак:  
 $m_{ep}$     $m_{oi}$ -?

Ечиш. Ой Ер таъсирида Ер атрофида ҳаракат қиласди, бунда Ернинг маркази Ой орбитасининг кўзғалмас маркази бўлади.



5.14-расм.

Кузатишлардан маълум бўлдикни, Ой Ер маркази атрофида ҳаракат қилмай, Ер марказидан 4700 км масоғадаги Р нуқта атрофида ҳаракат қиласди экан (5.14-расм). Ер маркази ҳам Р нуқта атрофида айланади бўйлаб ҳаракат қиласди. Айланма ҳаракат қилаётганды жисмлар ўзаро таъсирилашганда қуйидаги муносабат ўриниши эди:

$$\frac{a_o}{a_{ep}} = \frac{r_o}{r_{ep}}$$

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

мұносабат ҳам үринли бўлади. Ҳисоблашларни амалга оширасак:

$$\frac{m_{kp}}{m_o} = \frac{r_o}{r_{kp}} \frac{380000}{4700} \text{ км} = 81$$

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

**2-масала.** Ер сиртидан Ер радиуси қадар узоқликдаги нуқтада жисмнинг оғирлик күчи неча марта камаяди? Эркін түшиш тезланишичى?

Берилган

$$h = R_{cp}$$

Топшынг бераж:

$$P/P_h - ?$$

$$g/g_h - ?$$

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

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

Шу жисмнинг Ер сиртидан  $h = R_{cp}$  баландликдаги оғирлик күчи эса

$$P_h = G \frac{\dot{M}_{kp} \cdot m}{(R_{kp} + h)^2} = G \frac{\dot{M}_{kp} \cdot m}{(R_{kp} + R_{kp})^2} = G \frac{\dot{M}_{kp} \cdot m}{4R_{kp}^2} \quad (2)$$

(1) ва (2) формулалардан нисбатни топамиз:

$$\frac{P}{P_h} = \frac{G \frac{M_{kp} \cdot m}{R_{kp}^2}}{G \frac{\dot{M}_{kp} \cdot m}{4R_{kp}^2}} = 4.$$

Оғирлик күчин әркін түшиш тезланиши билан қуйидагича:

$$\begin{aligned} P &= mg \\ P_h &= mg_h \end{aligned} \quad (3)$$

Нисбаттарин олсак, мұносабатда боғланғанлыги учун

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

**Жаоб.** Ер сиртидан  $h = R$  баландликдаги оғирлик кучи ҳам, эркин тушиш тезланиши ҳам 4 марта камаяр экан.

**3-масала.** Буюк ўзбек алломаси Аҳмад Ал-Фарғоний Ер меридианининг узунлигини ўлчаща маълум географик кенгликтаги  $1^\circ$  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:	Ечиш. Масалани очиш учун $1^\circ$ ёйнинг узунлигини $360^\circ$ га кўпайтириш керак:
$R = 115,87$ км	$L_m = 2\pi R = 360 \cdot 115,87$ км = $41713,2$ км.
Топиш керак:	Ҳозирги замон ўлчашларида
$L_m - ?$	$L_m = 40000$ км фарқи $(41713,2 - 40000)$ КМ = $1713,2$ км.

**Жаоб:**  $41713,2$  км.

**4-масала.** Ер сиртига нисбатан  $1700$  км баландликда ҳаракат қиласётган сунъий йўлдошнинг тезлиги ва айланиш даври топилсан.

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

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

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

$$F = ma \quad (2)$$

Ёзиш мумкин:  $a_{m.i.}$  марказга интилма тезланиш.  
У ҳолда

$$a_{m.i.} = \frac{V^2}{(R+h)} \quad (3)$$

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

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

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

Эканини ҳисобга олсак,  $V^2 = \frac{gR^2}{(R+h)}$  (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 топамиз.

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

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

**5-масала.** Агар бәъзи планеталарга қараганда жисмнинг вазни күтбігі нисбатан экваторда иккі марта кам деб ҳисобланса, планетанинг ўз үқи атрофида айланиш даври қандай бўлади?

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

Берилган:

$$P_3 = \frac{P_k}{2}$$

Ечиш. Планета сиртида турган

жисмга:  $F$  — планетанинг торти-

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

Топиш керак:

T - ?

ҳамда планетанинг нормал реакция кучи N таъсир этади. Планетанинг массаси M = ρ V

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

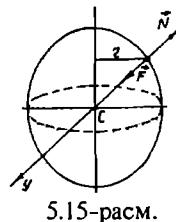
У ҳолда

$$M = \frac{4}{3} \pi R^3 \rho \quad (3)$$

бўлади.

тортишиш кучи

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



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 С планетага йўналган бўлади.

Ньютоннинг II қонунига асосан

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

(5) га асосан

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

ни ёзиш мумкин.

Масалани икки ҳол учун ечамиш:

1) Жисм қутбда турган ҳол учун:

Қутбда r = 0 бўлгани учун чизиқли тезликни топамиш.

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

демак, (6) дан

$$\frac{4}{3} \pi G \rho m R - N_k = 0 \quad (8)$$

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,

$$\frac{4}{3} \pi G m \rho R - N_s = m \frac{(2\pi R)^2}{R T^2} \quad (10)$$

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  $P_e = \frac{P}{2}$  ва  $P = N$  десак,

$N_s = \frac{N_k}{2}$  ни ёзиш мумкин. У ҳолда

$$N_s = \frac{2}{3} G \pi m \rho R \quad (12)$$

дан  $T = \sqrt{\frac{4\pi^2 m R}{\frac{4}{3} \pi G \rho m R - \frac{2}{3} G \pi \rho m R}} = \sqrt{\frac{6\pi}{G \rho}}$  (13)

келиб чиқади.  $T = \sqrt{\frac{6 \times 3,14}{6,67 \times 10^{-11} \frac{H \times M^2}{K^2} \times 3 \times 10^3 \frac{Kg}{M^3}}} = 9,7 \times 10^3$

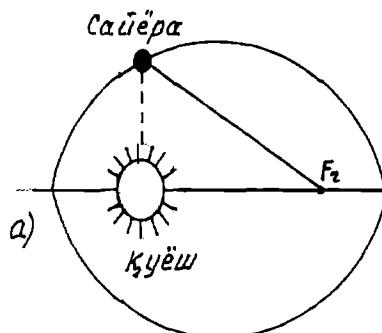
Жавоб:  $T = 9,7 \times 10^3$  с.

## 29- § . ПЛАНЕТАЛАР ҲАРАКАТИ. ЕРНИНГ СУНЬИЙ ЙҮЛДОШЛАРИ. КОСМИК ТЕЗЛИКЛАР

Барча сайёralар Куёш тизимиға биноан Куёшнинг атрофига эллиптик орбиталар бўйича айланма ҳаракат қилади. Бу орбиталар деярли бир текисликда жойлашган. Куёш тизимидаги барча сайёralарнинг табиий йўлдошлари мавжуд. Шу жумладан, Ернинг табиий йўлдоши Ой ҳисобланади. Ҳозирги даврда Ернинг атрофига табиий йўлдошдан ташқари жуда кўп микдорда сунъий йўлдошлар ҳам ҳаракат қилмоқда.

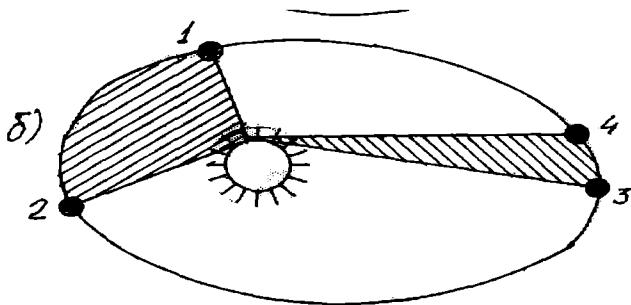
Сайёralар ва уларнинг табиий йўлдошлари ҳамда сунъий йўлдошлар ҳаракати ўргасида умумий қонуният мавжуд бўлиб, бу қонуниятни даниялик астроном Т.Брагге (1546-1601) жуда кўп кузатишларда аниқлаган. XVII асрда эса немис олим И.Кеплер (1571-1630) сайёralар ҳаракатининг қонуниятларини умумлаштириб, ўзининг қуидаги учта қонунини яратди:

1. Барча сайёralарнинг орбиталари эллиписдан: иборат бўлиб, унинг бир фокусида Куёш жойлашган: (5.16-расм, а).



5.16-расм, а.

2. Сайёранинг радиус-вектори тенг вақтлар оралиғига 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.

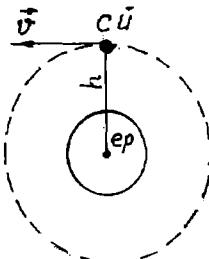
$$\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2 = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^3 = \text{const}$$

Қүёш тизимидағи сайёраларнинг ҳаракатини ва коинот сирларини ўрганиши учун сайёралар томон ва коинотта Ернинг сунъий йўлдошларини парвоз қилириш керак бўлади. Бунинг учун сунъий йўлдош Ернинг тортиш кучини енгиб, эллипс, парабола ёки гиперболадан иборат траектория бўйича ҳаракат қилиши керак. Бундай ҳаракатни амалга ошириш Ернинг сунъий йўлдошига муайян равишда бошлангич тезлик берилиши лозим.

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:

$$a = \frac{V^2}{r} = \frac{V^2}{R+h} \quad (1)$$



5.17-расм.

Бу вақтда таъсир этувчи тортиш кучининг модули

$$F_r = G \frac{Mm}{r^2} = G \frac{Mm}{(R+h)^2} \quad (2)$$

формула бўйича аниқланади. Формуладан Ньютоннинг иккинчи қонунига асосан  $m$  — йўлдош массаси;  $M$  — Ер массаси.

$$\text{У ҳолда } a = G \frac{M}{(R+h)^2} \quad (3)$$

(1) ва (3) формулалардан  $\frac{V^2}{R+h} = G \frac{M}{(R+h)^2}$  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 куйидагича топилади:

$$V_1 = \sqrt{G \frac{M}{R}} \quad (4)$$

Ер сиртида жисмнинг эркин тушиш тезланиши

$$g = G \frac{M}{R^2} \text{ эканлигини ҳисобга олсак, шунингдек, } gR = G \frac{M}{R}$$

га эътибор берсак, биринчи космик тезлик формуласини  $V_1 = \sqrt{gR}$

(6)  
кўринишда ёзиш мумкин.

$$g = 9,8 \text{ м/с}^2 \text{ ва } = 6,4 \times 10^6 \text{ м деб,}$$

$$V_1 = \sqrt{gR} = \sqrt{9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \times 6,4 \times 10^6 \text{ м}} \approx 7,9 \frac{\text{км}}{\text{с}}$$

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, Қүёшнинг сунъий йўлдошига айланиши учун йўлдошга (ракетага) иккинчи космик тезлик берилиши керак. Бундай тезликка эришиш учун йўлдошнинг тўла энергиясини аниқлаш керак, яъни

$$W_T = \frac{m V_2^2}{2} - G \frac{M_{ep} m}{R} = 0 \quad (7)$$

Бундан

$$\frac{m V_2^2}{2} = G \frac{M_{ep} m}{R} \text{ ва } V_2^2 = \frac{2GM_{ep}}{R} \quad (8)$$

келиб чиқади. Бу ҳолда Ернинг ўз ўқи атрофида айланиш натижасида вужудга келадиган марказдан қочма куч ҳисобга олинмасагина Ернинг тортиш кучи йўлдошга таъсир этувчи кучга тенг бўлади.

$$G \frac{M_{ep} m}{R^2} = mg \quad G \frac{M_{ep}}{R} = gR \quad (9)$$

(8) ва (9) дан иккинчи космик тезликни ҳисоблаб топиш мумкин

$$V_2 = \sqrt{2gR} = \sqrt{2\sqrt{gR}} = \sqrt{2V_1} = 1,41V_1 = 1,2 \frac{\text{км}}{\text{с}} \quad (10)$$

Бундан ташқари, учинчи космик тезлик ҳам мавжуд бўлиб, бу тезликка эришган йўлдош (ракета) Ер ва Қүёшнинг тортиш кучини енгиб, Қүёш доирасидан чиқиб кетиши керак. Бунинг учун йўлдошнинг Ер сиртидаги бошланғич тезлигини аниқлаш зарур бўлади. Бунинг учун Қўёшнинг массаси  $M=1,97 \times 10^{30}$  кг, Ернинг Қўёш атрофидаги ҳаракат орбитаси радиусининг ўртача қўймати

$$R_{ep}^k = 1,5 \times 10^{11} \text{ км} \quad (11)$$

ҳисобга олиб, формула ёрдамида топилади, яъни

$$V_2^1 = \sqrt{2 \frac{GM}{R_{ep}^k}} = \sqrt{2 \frac{6,67 \times 10^{-11} \times 1,97 \times 10^{30}}{1,5 \times 10^{11}}} \frac{\text{км}}{\text{с}} = 42,2 \frac{\text{км}}{\text{с}}$$

Бу олингандын натижа Ер құзғалмас бүлгандың үриниді. Аммо Ернинг үз орбитасидаги үртака тезлигі  $V_{ep} = 29,8 \text{ км/с}$  га тенглигини зерттироф этиб, бошланғич тезлик билан Ернинг үз орбитасидаги үртака тезлигининг вектори бир хил йұналған бўлса, йўлдошнинг Ер орбитасидан чиқиб кетишинг энг кичик тезлигі келиб чиқади, яъни

$$V^k = V_3^1 - V_{ep} = (42,2 - 29,8) \frac{\text{км}}{\text{с}} = 12,4 \frac{\text{км}}{\text{с}}.$$

Амалда учинчи космик тезлик  $V_3 = 16,7 \text{ км/с}$  га тенг. Учинчи космик тезлик, сунъий йўлдошларнинг тезлигі Ернинг үз 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 ўтамиш. Бундай тезликка эришган сунъий йўлдош Галактиканинг тортиш кучини енгиг, коинотта чиқиб кетиши керак. Тўртинчи тезликни ҳисоблаш анча мураккаб, Куёшнинг орбитадаги тезлигі  $V_k = 220 \text{ км/с}$  эканлиги ҳисобга олинса, Галактика марказида юлдуз тезлигі  $V_o = 185 \text{ км/с}$  бўлиши керак, лекин бундай тезлик билан ҳаракат қиладиган юлдуз коинотда бўлмаса керак, юлдузнинг Галактиканда ушлаб турувчи энг катта тезлик ҳисобланди. Шунинг учун тўртинчи космик тезлик  $V_o < V_y$  бўлиши керак, яъни тахминан  $V_y = 290 \text{ км/с}$  бўлиши керак.

### **30-§. ИШҚАЛАНИШ КУЧЛАРИ. ИШҚАЛАНИШ ТУРЛАРИ. АМОНТОН ВА КУЛОН ҚОНУНИ**

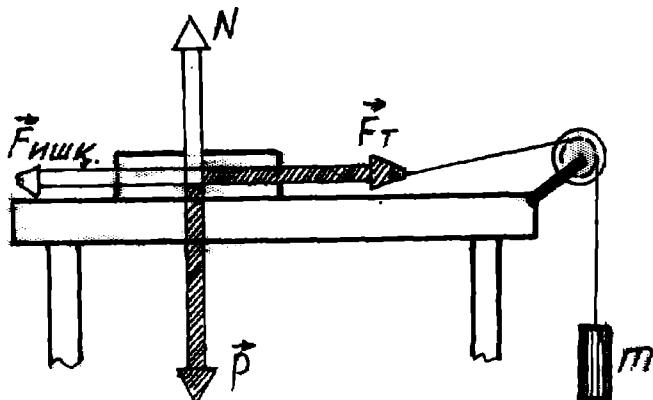
Биз жисм ҳаракатини ўрганишмиз давомида жисм ҳаракатига мұхитнинг қаршилигини ҳисобга олмадик. Жисмлар ёки жисмнинг бўлакларий бир-бирига нисбатан ҳаракат қилганда ёки бир-бирига тегиб турганда ишқаланиш кучлари ҳосил бўлади. Ишқаланиш ташки, ички ишқаланишларга бўлинади. Икки жисм тегиб турган жойида бир-бирига нисбатан кўчиши натижасида ҳосил бўлган ишқаланишга ташки ишқаланиш деб аталади. Бир яхлит жисм, суюқлик ёки газ бўлаклари орасидаги ишқаланишга ички ишқаланиши деб аталади. Қаттиқ жисм, суюқлик ёки газга нисбатан ҳара-

кат қылганда ички ишқаланиш ҳосил бўлади. Бунда жисмнинг муҳитга тегиб турган қатламлари жисмга эргашиб, бир хил тезликда ҳаракатланади, натижада қатламлар орасида ишқаланиш содир бўлади.

Ташқи ишқаланиш тинчлиқдаги (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 намоён бўладиган ишқаланишдир. Ишқаланиш кучи ишқаланувчи сиртларга уринма сифатида йўналгани учун бир-бирига тегиб турувчи сиртлар ёки қатламларниң бир-бирига нисбатан силжишга тўсқинлик қиласди, натижада жисмнинг энергияси камаяди. Энергиянинг камайишига сабаб ишқаланиш натижасида жисмнинг исиши, жисмларниң зарядланиши ва емирилиши содир бўлишидир.

Қуруқ ишқаланишни ўрганиші учун столниң горизонтали сиртига тахтача қўйиб, тахтачани блок орқали ип билан боғлаймиз ва ипнинг иккинчи учига т массали юқ осамиз (5.18-расм). Юқ осилганда тахтача ҳаракат қилмайди. Бунга сабаб тахтага таъсир этувчи кучларниң 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<sub>т</sub> таъсир қиласди. Ипнинг таранглик кучини жисмларнинг бир-бираiga тегиб турган сиртлари бўйлаб таранглик F<sub>т</sub> кучига қарама-қарши бўлган F<sub>иниқ</sub> кучи мувозанатлади.

$$F_{\text{иниқ}} = - F$$

Ипга осилган юкни аста-секин орттириб бериш натижасида тахтани ҳаракатга келтиришга эришамиз. Демак, ишқаланиш кучи, тахтага стол сирти бўйлаб ҳаракат қилганда ҳосил бўлмасдан, тахтача столга нисбатан тинч турганда юзага келади. Бир-бираiga нисбатан ҳаракат қилмайдиган сиртлар орасида намоён бўладиган ишқаланишга тинчликдаги ишқаланиш деб аталади.

Тажрибани тахтача устига оғирлик қўйиб тақрорланганда ҳам натижа бир хил бўлади, лекин бу ҳолда тинчликдаги ишқаланиш кучи максимал қийматга эга бўлади. Бунга сабаб бир-бираiga тегиб турган сиртларга таъсир этётган босим кучининг ўзгаришидир.

Тинчликдаги максимал ишқаланиш кучи эса босим кучига тўғри пропорционал. Демак, Ньютоннинг учинчи конунига асосан босим кучи таянчнинг реакция кучига тенг бўлганлиги учун, тинчликдаги максимал ишқаланиш кучи таянчнинг реакция кучига пропорционал бўлади.

Бир-бираiga тегиб турувчи сиртларнинг материали ўзгартирилса, тинчликдаги максимал ишқаланиш кучи босим кучига боғлиқ бўлиши билан тегиб турувчи сиртлар материалига ҳам боғлиқ экан, яъни  $F_{\text{иниқ}} \sim M_0$  - катталик тинчликдаги ишқаланиш коэффициенти. Демак, тинчликдаги ишқаланиш кучи босим кучи билан бир-бираiga тегиб турувчи сиртларнинг материалига боғлиқ экан, яъни :

Тинчликдаги ишқаланиш кучи жисмларнинг ҳаракат қилишига қаршилик кўрсатиш билан бир-бираiga тегиб турувчи жисмларнинг нисбий тинчлик ҳолатини сақлайди.

Баъзи бир ҳолларда тинчликдаги ишқаланиш кучи жисм ҳаракатида тезланишин юзага келтиради.

Масалан, одамлар юрганида пойафзал таг чаримиға таъсир этувчи ишқаланиш кучи одамга тезланиш берди. Таг чарм орқага сирпанмагани сабабли у билан йўл (таянч) орасида тинчликдаги ишқаланиш содир бўлади. Тинчликдаги ишқаланиш кучига модули бўйича тенг, аммо қарама-қарши йўналган куч таянчга тезланиш беради.

Жисмга таъсир этувчи ташки куч тинчликдаги максимал ишқаланиш кучидан катта бўлган ҳолда жисм сирпана бошлайди, яъни сирпанишдаги ишқаланиш амалга ошади. Сирпанишдаги қонунлар франциялиқ физиклар Г.Амонтон (1699 й.) ва Ш.Кулон (1781 й.) томонидан кащф этилган: тинчликдаги ишқаланиш кучининг максимал қиймати бир-бирига тегиб турган жисмларнинг тугаш сиртларига нормал бўлган  $N$  босим кучига пропорционал бўлиб, ишқаланаётган сиртларнинг юзасига боғлиқ эмас (5.19-расм).

$$F_{\text{ишк}} = \mu N$$

$\mu$  — сирпанишдаги ишқаланиш коэффициенти 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 ташкил этувчиси ишқаланиш кучига тенг бўлиши керак.

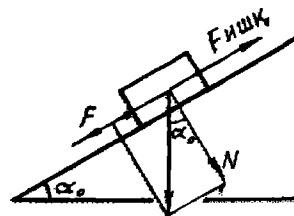
$$F_{\text{ишк}} = F \text{ ёки}$$

$$P \sin \alpha_0 = \mu N = \mu P \cos \alpha$$

$$\mu = \frac{P \sin \alpha_0}{P \cos \alpha_0} = \tan \alpha_0$$

ишқаланиш коэффициенти тангенс  $\alpha_0$  бурчагига тенг бўлганда жисм қия текисликда сирпана бошлайди.

Хозирги вактда ишқаланишини мукаммал тушунтириб берувчи назария яратилгани йўқ. Ишқаланиш кучини тушунтириб беришда: 1) бир-бирига тегиб турувчи сиртлар идеал силлиқ бўлмай, балки дўнглик ва чуқурчалардан иборат бўлган сиртлардир. Сиртлар бир-бирига тегиб турганда дўнгликлар ва чуқурчалар бир-бирини тўлдириб ишқаланиш кучини ҳосил қиласди. 2) бир-бирига тегиб турувчи жисмлар молекулаларининг ўзаро тортишишидир. Бунда яхшилаб силлиқланган сиртлар бир-бирига теккандада молекулаларнинг бир қисми бир-бирига жуда яқин-



5.19-расм.

лашиб, тегишуучи жисм молекулалари орасида тортишиш кучи ҳосил бўлади. Бу қонунни 1902 йили Б.В.Дерягин сирпанишдаги ишқаланиш учун тавсия этади. Қонуннинг математик кўриниши кўйидагича:

$$F_{\text{ишк}} = \mu_x (N + S p_v),$$

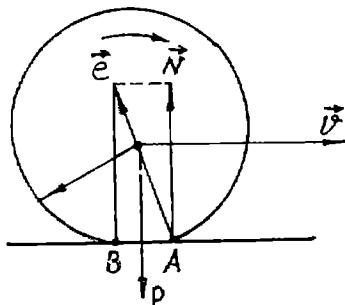
бу формулада,  $P_v$  — молекулаларнинг тортишиш кучи натижасида ҳосил бўладиган қўшимча босим;  $S$  — тегишуучи сиртлар юзаси, ҳақиқий ишқаланиш коэффициенти.

Одатда ишқаланиш коэффициенти бирдан кичик бўлади. 1-жадвалда сирпаниш-ишқаланиш коэффициентининг бъзи материаллар учун қийматлари келтирилган.

### 1-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-бира га тегиб турувчи қисмлар деформацияланади. Натижада таъсир таянч нуқтасига берилмай, маълум бир юзага берилади (5.20-расм).



5.20-расм.

Жисм думалаётганда А таянч нуқтаси оғирлик марказидан ўтвучи вертикалдан олдинга В нуқтага силжиган бўлади. Таянчга таъсир этувчи куч (босим кучи  $N$ ) таъсир чизиқдан орқада қолади. Натижада бу куч оғирлик кучи таъсирида мувозанатлашади. Чунки  $N = R_{\parallel}$ . Демак,  $R_{\parallel} = -P$ . Аммо босим кучининг тенгенцијал ташкил этувчиси ҳаракат йўналишига тескари йўналишда бўлганлиги сабабли думаланишдаги ишқаланиш кучининг юзага келишига сабаб бўлади. Думала-

нишдаги ишқаланиш кучининг миқдори Кулон қонуни асосида аниқланади:

$$F_D = \mu_D \frac{N}{g},$$

бу формулада,  $\mu_d$  — думаланишдаги ишқаланиш коэффициенти бўлиб, узунлик бирлигига ўлчанади;  $\mu_d$  — ўзаро таъсирилашувчи 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 анчә 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 фидиреклардан 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, қўйидаги шартни ёзиш мумкин:  $\mu_r > \mu_c > \mu_g$ . Шунинг учун нотекис ва ботқоқли йўлда ҳаракат қилувчи машиналарнинг фидирекларини радиуслари катта қилиб тайёрланади.

Ишқаланиш кучи кундалик ҳаётимизда ва табиатда муҳим аҳамиятга эгадир. Масалан, деворга қоқилган мих, кийимга қадалган тугма, тишли бирикмалар, уйдаги жиҳозлар ишқаланиш бўлганлиги сабабли ўрнида туради. Ёки ишқаланиш кучи таъсирида қоқилган михни суғуриб оламиз. Бу куч таъсирида ҳаракат қиласиз, 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 қиласдириш учун албатта, шу мұхитни қаршилигини ҳисобга олиш керак бўлади. Масалан, суюқлик сиртида турган жисмга жуда кичик куч таъсир қилиши билан жисм ҳаракатга келади.

Тажриба асосида суюқлик ва газларда ҳаракат қилаётган жисмларга таъсир этувчи қаршилик кучи, жисм кичик тезлик билан ҳаракат қилганда чизиқли ортиб бориб, тезликка қарама-қарши йўналғанлиги аниқланади, яъни

$$F_k = KV.$$

Катта тезликларда эса қаршилик кучи квадратик қонун асосида топилар экан, яъни  $F_k = KV^2$ . Формулада  $K$  — коэффициент ҳаракатланаётган сиртнинг ҳолатига, шаклига, ўлчамларига ва мұхитнинг хоссаларига боғлиқ. Қаршиликни камайтириш ва тезликни ортириш учун автомобиль, самолёт, ракета, кема ва машиналар энг кам қаршиликка учрайдиган сирт-сүйри шаклида тайёрланади.

### 31-§. МАСАЛА ЕЧИШ НАМУНАЛАРИ

*1-масала.* Массаси 100 кг бўлган одам лифт билан бир-галикда текис тезланувчан ҳаракат қилиб, 7 с давомида 49 м пастга тушди. Одамнинг лифт ҳаракатланиш вақтидаги оғирлигини топинг.

Берилган:  
 $m = 100 \text{ кг};$   
 $t = 7 \text{ с};$   
 $S = 49 \text{ м};$   
 $g = 9,8 \text{ м/с}^2$   
 Топиш керак:

$$P = ?$$

Ечиш. Лифт пастга томон текис тезланувчан ҳаракатланганда одамнинг оғирлиги  
 $P = m(g - a)$  (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

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

$$\text{дан } a = \frac{2S}{t^2} \quad (4)$$

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.

$$P = 100 \text{ кг} \left( 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} - \frac{2 \times 49 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}}{49 \text{с}^2} \right) = 100 \text{ кг} \times 7,8 = 780 \text{ кг}$$

Жавоб:  $P = 780 \text{ кг.}$

2-масала. Қўзғалмас блокдан ўтказилган чўзилмайдиган ва вазнисиз ипнинг бир учига 25 кг, иккинчи учига 15 кг массали юклар осилган. Блокдаги ишқаланишини ҳисобга олмасдан жисмлар тезланишини ва ипнинг таранглик кучини аниқланг (5.19-расм).

Берилган:

$$m_1 = 25 \text{ кг}$$

$$m_2 = 15 \text{ кг}$$

Ечиш. Ипнинг таранглик кучини  $F_t$  деб, ҳар жисм учун ҳаракат тенгламасини ёзамиз:

Топиш керак:  
а - ? F -?

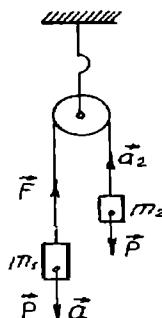
$$m_1 g - F_T = m_1 a \\ m_2 g - F_T = -m_2 a$$

Тенгламаларни бир-биридан айрсак

$$m_1 g - m_2 g = -m_1 a - (-m_2 a) \\ \text{ёки } g(m_1 - m_2) = a g(m_1 + m_2) \\ \text{ипнинг таранглик кучи } F_T = m_1(g-a),$$

$$F_T = 25 \text{ кг} \left( 9,8 \frac{m}{c^2} - 2,45 \frac{m}{c^2} \right) = 25 \times 7,35 \frac{m}{c^2} = 183,75 \text{ Н}$$

Жавоб:  $a = 2,45 \text{ м/с}^2$ ;  $F_T = 183,75 \text{ Н}$ .



5.21-расм.

**З-масала.** Тоққа  $a=1 \text{ м/с}^2$  тезланиш билан ҳаракатланиб чиқаётган автомобиль моторининг тортиш кучи  $F$  ни аниқланг. Тогнинг қиялиги 25 м ўйлда 1 м. Автомобилнинг оғирлигиги  $P=9,8 \times 10^3 \text{ Н}$ . Ишқаланиши коэффициенти  $\mu=0,1$ .

Берилган:

$$P = 9,8 \times 10^3 \text{ Н.}$$

$$a = 1 \text{ м/с}^2$$

$$g = 9,8 \text{ м/с}^2$$

$$\sin \alpha = 1/25 = 0,04$$

Топиш керак:

$F$  нормал босим кучи (5.22-расм).

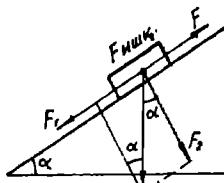
Тоққа чиқаётган автомобиль мотори  $F_1$  ва  $F_{\text{инк}}$  кучларини енгиб, автомобильга тезланиш бериш керак, яъни

$F = F_1 + F_{\text{инк}} + F_{\text{тез}}$ ,  
тогнинг қиялиги  $\alpha$ ,  $-F_2$  ва  $P$  кучлар орасидаги бурчак бўлгани учун  $\sin \alpha = 1/25 = 0,04$  га тенг.

Ньютоннинг II қонунига

$$\text{кўра } F_{\text{тез}} = ma = \frac{P}{g} a;$$

$$F_{\text{инк}} = \mu F_2 = \mu P \cos \alpha \text{ га тенг.}$$



5.22-расм.

$$F = P \sin \alpha + \mu P \cos \alpha + P \frac{a}{g} = P \left( \sin \alpha + \mu \cos \alpha + \frac{a}{g} \right)$$

$$F = 9,8 \times 10^3 H \left( 0,04 + 0,1 \sqrt{1 - 0,04 + \frac{1 \frac{M}{c^2}}{9,8 \frac{m}{c^2}}} \right) = 2352 H$$

**Жаһоб:**  $F = 2352$  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:

$$F_k = \left( g - \frac{2h}{l^2} \right)$$

$$F_k = 100 \text{ кг} \left( 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \frac{2 \times 10000 \text{ м}}{(180\text{с})^2} \right) = 877 \text{ Н}$$

*Жаңоб:*  $F_k = 877 \text{ Н.}$

5-масала. Узунлиги  $l = 50 \text{ м}$ , баландалиги  $h = 10 \text{ м}$  бўлган тепалиқдан арқонга боғланган  $m = 60 \text{ кг}$  массали чана тушмоқда. Қиялик охирида чана  $V_i = 5 \text{ м/с}$  тезликка эришса ва унинг ишқаланиш коэффициенти  $\mu = 0,1$ га тенг деб, арқоннинг таранглик кучи  $F_t$  топилсин.

Берилган:	Ечиш. Чанага: 1) $P=mg$ оғирлик кучи;
$l = 50 \text{ м};$	2) $F_c = P \sin \alpha$ чанани судровчи куч (5.22-расм);
$h = 10 \text{ м};$	3) $F_{\text{ишк}} = \mu P = \mu mg$ ишқаланиш кучи;
$m = 60 \text{ кг}$	4) $F_t$ арқонни тарангловчи кучлар таъсир этади. Чана қия текислик бўйича тепага ҳаракат қилганда, Ньютоннинг иккинчи қонунини кўйидагича ёзамиш.
$V_i = 5 \text{ м/с};$	
$V_o = 0;$	
$\mu = 0,1;$	
$g = 9,8 \text{ м/с}^2.$	
Топиш керак:	
$F_t - ?$	

$$m\alpha = F_c - F_{\text{ишк}} - F_t \quad \text{ёки} \quad m\alpha = P \sin \alpha - \mu P - F_t$$

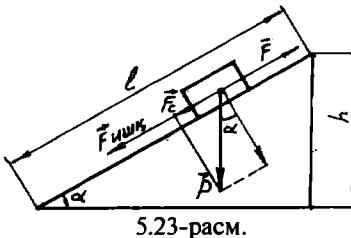
$$\text{формулада } P=mg; F_c = mg \sin \alpha = mg \frac{h}{l}; a = \frac{V_i^2}{2l}.$$

У ҳолда  $F_t mg \left( \frac{h}{l} - \mu \frac{V_i^2}{2lg} \right)$  бўлади,

$$F_t = 60 \text{ кг} \times 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \left( \frac{10 \text{ м}}{50 \text{ м}} - 0,1 \frac{\frac{25 \text{ м}^2}{\text{с}^2}}{2 \times 50 \text{ м} \times 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} \right) =$$

$$= 588 \text{Н} (0,2 - 0,10,025) = 588 \text{Н} \times 0,075 = 44,1 \text{Н}$$

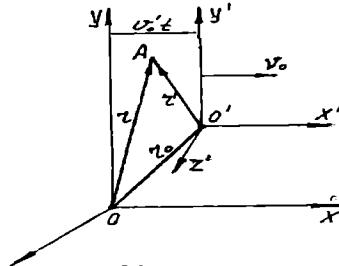
Жавоб:  $F_t = 44,1$  Н.



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 түгри келади. Бунинг учун координата үқлари 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 текис ва тўғри чизиқли ҳаракат қиласин (5.24-расм). Бошлангич вақт моментида ( $t=0$ ) иккала системанинг координата бошлари устма-уст тушсин деб ҳисоблаймиз. Бошлангич радиус вектор  $r_0 = 0 = V_0 t$  тенглигидан  $r = r' + r_0 = r' + V_0 t$  тезликни ёзиш мумкин. Йхтиёрий  $t$  вақтдан сўнг  $A$  нуқтанинг иккала саноқ системасидаги координаталари кўйидаги муносабатдан топилади:



5.24-расм.

$$\left. \begin{array}{l} X = X' + V_x t \\ Y = Y' + V_y t \\ Z = Z' + V_z t \end{array} \right\} \quad (1)$$

Ньютон механикасига асосан фазо ва вақт түшунчасига асосланиб, иккала саноқ системасида ҳам вақт бир хил бўла-ди деган хуносага келамиз, яъни  $t=t'$

Шуни таъкидлаш лозимки, (1) тенгламалар системаси Галилей алмаштиришлари бўлиб, узунлик ва вақт оралиқлари мутлақ ўзгармас деб ҳисобланиб, у ёруғлик тезлиги-дан кичик ( $V_o < C$ ) тезлик билан ҳаракат қилаётган ҳолларда ўринли бўлади. Галилей алмаштиришларидан фойдаланиб, ҳаракатланаётган жисмнинг (нуқтанинг) бирор инерциал саноқ системасидаги тезлиги билан бошқа инерциал саноқ системасидаги тезлиги орасидаги муносабатни топиш мумкин. К ва K' системасидаги нуқтанинг тезликларини  $t=t'$  вақтдаги проекцияларини топайлик

$$\left. \begin{array}{l} V_x = V'_x - V_0 \\ V_y = V'_y \\ V_z = V'_z \end{array} \right\} \quad (2)$$

(2) тенгламалар системасини умумлаштирсак, Ньютон механикасидаги тезликларни кўшиш 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 йифиндисига тенг экан. Масалан, каналда сузуб кетаётган сузувчинг қирғоқча нисбатан тезлиги унинг сувга нисбатан тезликларини вектор йифиндисига 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 т ҳам ўзгармасдири, яъни  $m=m'$  бўлади.

Жисмга таъсир этувчи кучлар  $K$  ва  $K'$  саноқ системаларидағи

$F=ma$  ва  $F'=ma'$  ҳамда  $a=a'$  эканлигидан  $F=F'$  дейиш мүмкін.

Бир саноқ системасидан иккінчисига ўтганда қиймати ўзгармай қоладиган катталиклар Галилей алмаштиришлары-га нисбатан инвариант бўлар экан.

Шундай қилиб, қуйидаги умумий хуносага келамиз, узунлик, вақтнинг ўтиши, жисмнинг массаси, тезланиши 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 чизиқли текис ҳаракатланаётганлигини аниқлаб бўлмайди. Бу принципга Галилейнинг нисбийлик принципи ёки нисбийликнинг механик принципи деб аталади.

Хулоса қилиб, Галилей алмаштиришларини жадвал асо-сида берамиз:

$K'$ системадан $K$ га ўтиш	$K$ системадан $K'$ га ўтиш
$r = r' + V_0 t$	$r' = r - V_0 t$
$X=X' + V_x t$	$X'=X-V_x t$
$y=y' + V_y t$	$y=y'+V_y t$
$Z=Z'+V_z t$	$Z'=Z+V_z t$
$t=t'$	$t=t'$
$m=m'$	$m=m'$
$V=V''+V_0$	$V''=V''+V_0$
$\alpha=\alpha'$	$\alpha'=a$
$F=F$	$F=F$

## VI боб

### МЕХАНИКАДА САҚЛАНИШ ҚОНУНЛАРИ

Ньютон қонунларига асосан жисмга таъсир этувчи күчлар маълум бўлса, механика қонунларига тегишли масалаларни ҳал қилиш мумкин бўлади. Аммо кўпчилик ҳолларда жисмга таъсир этувчи кучлар номаълум бўлганлиги сабабли ҳаракат қонунларини аниқлаш мумкин бўмайди. Айниқса, иккиси жисм ўзаро тўқнашгандага тўқнашиш вақти жуда ҳам қисқа бўлганлиги сабабли жисмларнинг ўзаро тўқнашиши натижасида эластиклик кучи ҳосил бўлади. Шунингдек, жисмлар тўқнашгандага 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 катталик ҳисобланади. Бу катталикларнинг ўзи билан бир қаторда уларнинг сақланиш қонунлари физика фанининг барча бўлимларида катта аҳамиятга эга ва муҳимдир.

#### 33-§. КУЧ ВА ИМПУЛЬС

Жисм ҳаракати натижасида унинг ҳаракат тезлигининг ўзгариш жадаллиги тезланиш орқали аниқланар эди, яъни

$$\bar{a} = \frac{\bar{V}' - \bar{V}_0}{t} \quad (1)$$

Ньютоннинг иккинчи қонунига асосан т массали жисмга таъсир этувчи куч  $F = ma$  формула ёрдамида аниқланишини ҳисобга олиб, (1) формула ифодасини (2) формулага қўйсак,

$$\bar{F} = m \frac{\bar{V} - \bar{V}_0}{t} \quad (3)$$

ифода аниқланади. Формулада  $V - V_0$  тезликнинг ўзгариши,  $t$ - тезлик ўзгариши юз берган вақт.

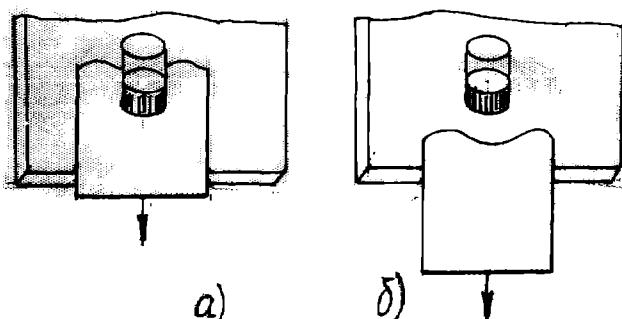
Жисмнинг тезлиги куч таъсирида ўзгаришини ҳисобга олсак, у ҳолда кучнинг таъсир этиш вақти  $t$  бўлади, натижада тезлик

$$\bar{V} - \bar{V}_0 = \frac{\bar{F}t}{m} \quad (4)$$

катталикка ўзгаради.

Мисол учун, стол устига стакан қўйиб, стакан устига стаканнинг юзасидан катта картон қофоз қўйиб, қофознинг устига танга, ёки майда жисмлар қўйиб картон қофозни секин чERTсак танга ва майда жисмлар картон қофоз билан биргаликда стол сиртига тушади, тажрибанинг картон қофозни кучлироқ чERTиб тақрорласак, у ҳолда танга ёки майда жисмларнинг стакан ичига тушганини кўрамиз.

Тажрибани бошқачароқ шаклда қилиб кўрайлик, яъни столнинг устига қофоз варагини қўйиб, унинг устига сув тўлдирилган стаканни қўйиб, қофозни аста-секин тортсак, у ҳолда стакан қофоз билан бирга сурилади. Қофозни горизонтал йўналишда кескин тортганимизда стакан остидан қофоз чиқиб кетади, стакан эса ўз жойида қолади (6.1-а, б расм).



6.1-расм.

Тажрибадан күриниб турибиди, 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 маҳсус 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 ( $Ns$ ) 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 охирги вақт моментидаги импульсини  $mV - mV_0$  айрма 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 ичидагатта 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  $Ft$  бир хил қийматга эга бўлганлиги сабабли жисм импульсининг ўзгариши ҳам бир хил бўлади. Агар ҳар хил массалий жисмларга бир хил куч импульси таъсир этса, барча жисм импульсларининг ўзгариши бир хил бўлади, аммо жисмларнинг тезликлари ҳар хил ўзгаради, бунда 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

$$[P] = 1\text{kg} \cdot 1 \text{m/s} = 1 \text{kg m/s}.$$

Хулоса қилиб, шуни қайд этамизки, «импульс» лотинча *impulsus* сўзидан келиб чиққан бўлиб, «туртқи» маъносини англатади.

## 34-§. ИМПУЛСНИНГ САҚЛАНИШ ҚОNUНИ

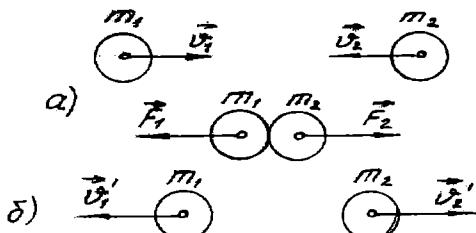
Импульснинг асосий ва муҳим хоссаси, унинг сақланиш хоссасидир. Сақланиш хоссаси — ўзгармай қолиш хоссасидир. Бу ҳолда икки ёки ундан ортиқ жисмлар бир-бири билан ўзаро таъсиралишиб, бунда уларга ташқи кучлар таъсира қилмайди. Битта жисмга ташқи куч таъсира қилмаса, у ҳолда бу жисм импульси ўзгармайди, демак, импульснинг сақланиш қонуни жисмлар тизими учун муҳимдир. Жисмлар тизими деганда ўзаро таъсиралашувчи жисмлар тўплами тушунилади.

Агар тизимга ташқи кучлар таъсира қилмаса, бундай тизимга берк тизим дейилади.

Жисм импульси факат миқдорий жиҳатдан аниқланмасдан, йўналиши бўйича ҳам аниқланади. Жисм импульснинг йўналиши жисм 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 тўқнашсан. Тўқнашиш марказий ва абсолют эластик бўлганлиги сабабли шарларнинг тезлиги ва импульси ўзгарсин. Шарлар тўқнашгандан сўнг уларнинг тезликлари мос равишида  $V'_1$  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 равишида тенг бўлади:



6.2-расм.

$$\left. \begin{array}{l} m_1 \vec{V}'_1 - m_1 \vec{V}_1 = \vec{F}_1 \times t \\ m_2 \vec{V}'_2 - m_2 \vec{V}_2 = \vec{F}_2 \times t \end{array} \right\} \quad (1)$$

(1) системани ҳадма-ҳад күшамиз:

$$m_1 \vec{V}'_1 - m_1 \vec{V}_1 + m_2 \vec{V}'_2 - m_2 \vec{V}_2 = 0$$

(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

$$\vec{P}'_1 + \vec{P}'_2 = \vec{P}_1 + \vec{P}_2 \text{ ни} \quad (4)$$

(3) ва (4) формулаларнинг чап томони тизимни ташкил этган жисмларнинг таъсирилашувгача бўлган импульсларнинг вектор йифиндиси бўлса, ўнг томони эса таъсирилашувдан кейинги импульсларнинг вектор йифиндиси бўлади.

Шундай қилиб, берк тизимни ташкил этган жисмлар импульсларининг вектор йифиндиси бу тизимдаги жисмларнинг бир-бири билан бўладиган ҳар қандай ўзаро таъсирида ўзгармас экан, яъни  $\vec{P}' = \vec{P}$  ёки  $\vec{P}' - \vec{P} = \Delta \vec{P} = 0$  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 қсунуни 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 таъсирилашувидан ташқари тизимга кирмаган ташқи кучлар билан ҳам таъсиранувини ҳисобга олиш керак. Бу ҳолда жисмлар ўзаро таъсирилашганда ташқи ва ички кучлар таъсирида жисм импульси ўзгаради.

Ньютоннинг иккинчи қонунига асосан жисмлар импульсининг ўзгариши мос равищда қўйидагича аниқланади:

$$\left. \begin{array}{l} \Delta \bar{P}_1 = \bar{F}_1 t + \bar{F}_1' t \\ \Delta \bar{P}_2 = \bar{F}_2 t + \bar{F}_2' t \end{array} \right\} \quad (6)$$

Олай даа аяда  $F'_1$ ,  $F'_2$  ва  $F_2$ ,  $F_1$  — ташқи кучлар;  $t$  — мос равищда ички ва ташқи кучларнинг таъсир этиш вақти. Тенгламани ҳадма-ҳад қўшиб чиқсан

$$\Delta(P_1 + P_2) = (F_1 + F_2) t + (F_1' + F_2') t \quad (7)$$

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,  $p=\text{const}$  ўринли бўлади. Шундай қилиб, (5) ифода (8) ифоданинг хусусий кўринишидир.

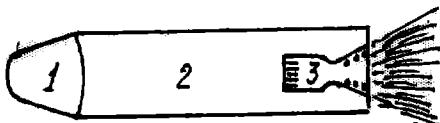
### 35- §. РЕАКТИВ ҲАРАКАТ

Коинот сирларини, Ер атрофидаги фазони, Қуёш тизимини 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 ётади. Реактив ҳаракат эса импульснинг сақланиш қонунига асосланади.

Реактив ҳаракатнинг асосий хусусияти асосан берк тизим массасининг ҳаракат давомида узлуксиз ўзгариши ҳисобланади, яъни ракетада ёнган ёқилғидан ҳосил бўлган газ ракетадан доимий равищда отилиб чиқиши ҳисобига ракетанинг массаси узлуксиз камайиб боришидир.

Ракета реактив ҳаракатни вужудга келтирувчи учувчи аппарат бўлиб, унинг бош қисми (1) фойдали юклар, зарядлар, илмий асбоблар ва космонавтлар жойлаштирилалди. Ракетанинг 2-қисмини ёқилғи ва турили хил бошқарув жиҳозлари ташкил этади. Ёқилғи (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 қиласди (6.3-расм). Сопло эса оқим тезлигини орттиради. Ёниш камерасидаги газ ва ракетани ташкил этган жисмлар ўзаро таъсиrlашувчи икки жисм тизими ҳисобланади.



6.3-расм.

Ёқилғи ёнгандан сўнг у ракетанинг сопло қисмидан катта тезлик билан отилиб чиқади, натижада ракетанинг қобиғи олдинга ҳаракат қиласди. Ернинг тортилиш кучи ҳисобга олмайдиган даражада кам деб ҳисоблаб, ракетани берк тизим сифатида қабул қиласиз. Демак, ракета ва ёнил-ғи учун йиғинди импульс ўзгармас бўлади. Ҳаракат давомида ракетанинг массаси билан бир қаторда тезлиги ҳам ўзгаради ва ракета тезланиши билан ҳаракат қиласди. 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-қаршى ишорали бўлади. Импульснинг сақланиш қонунига асосан

$m_r V_r - m_k V_k = 0$  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 қўриниб турибдики, ракета қобиғининг тезлигини орттириш учун, ёнилғи массаси ракета қобиғи масасидан катта бўлиши керак. Ҳисобларнинг кўрсатишига қўра

ракета биринчи космик тезлигика эришиши учун ( $V_1=7,9$  км/с) ёнилғининг массаси қобиқ массасидан 55 марта ортиқ бўлиши керак.

Ракетага таъсир этувчи реактив кучни топиш учун т бошланғич вақт моментида ракета билан газнинг массаси-ни  $m_1$ , Ерга нисбатан тезлигини  $V_1$  билан белгилаймиз,  $t_1$  вақт моментида ёнилғининг ёниши ҳисобига ракетанинг массаси камайиб  $m_0$  ва Ерга нисбатан тезлиги  $V_0$  бўлсин. У ҳолда ракета ҳаракатига қарама-қарши йўналган газнинг тезлиги и бўлади.  $U$  – ёнилғи ёнгандан ракетадан ажралиб чиқаётган газ тезлиги. Бу газнинг Ерга нисбатан  $t_1$  пайтдаги тезлиги  $V_r = V_1 - U$  десак, ракетанинг  $t_0$  вақтдаги импульси  $P_0 = mV_0$  бўлади.  $t_1$  вақтдаги ракетадаги газ учун йигинди импульс қўйидагига teng:

$$P_1 = m_1 V_1 + m_r V_r = m_1 V_1 + (m - m_1) (V_1 - U)$$

ёки  $m(V_1 - V_r) = -U(m - m_1)$ .

Формуладаги  $V_r - V_1 = \Delta V$  ракета тезлигини ўзгариши  $\Delta t = t_1 - t_0$  вақт ичida ёнилғи 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 ичida ёнилғи 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 ичida ёнилғи сарфи билан ракетадан отилиб чиқаётган газнинг тезлигига тўғри пропорционал экан.

Коинотта учишда реактив кучдан фойдаланиш тоғаси 1881 йил Н.И.Кибальчич томонидан таклиф этилган бўлиб, бу тоғанинг назарий асосларини 1903 йили К.Э.Циолковский исботлаб, коинот кемаларининг биринчи схематик чизмаси-ни чизиб берди. Циолковский ишларини амалий жиҳатдан С.П.Королев бажариб, унинг раҳбарлигига 1957 йилнинг 4 октябрида Ернинг биринчи йўлдоши, 1961 йилнинг 12 ап-релида инсоният тарихида биринчи фазогир Ю.А.Гагарин

коинотга парвоз қилди. Коинотни забт этишда Ойга, Марс-га, Венерага ва бошқа сайёralарга сунъий йўлдошлар учирилиб, улар ёрдамида коинот сирлари ҳақида зарурий маълумотлар олинмоқда.

Улар ёрдамида телережалар кўрсатилади, узоқ масофа-лар ўртасида телефон алоқаси ўрнатилмоқда, об-ҳаво ҳақида маълумотлар олинмоқда, ҳар хил машина-механизмларни юритиш аниқликлари белгиланмоқда ва бошқалар.

## **ЭНЕРГИЯНИНГ САҚЛАНИШ ҚОNUНИ**

Моддий оламда барча нарсалар ҳаракатда бўлганлиги сабабли улар доимий равишда ўзаро таъсирашади. Натижада жисмларнинг механик ҳаракати бошқа турдаги ҳаракатга айланади.

Масалан, стол устида турган жисмга куч таъсири 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 импулс бошқа турдаги ҳаракатнинг ўлчови бўла олмайди, чунки механик ҳаракат бошқа турдаги ҳаракатга ўтганда жисм импулси камаяди ва нолга тенг бўлади. Шунинг учун энергия тушунчасидан фойдаланилади. Энергия ҳам жисм импулси каби маълум катталикларга боғлиқ бўлади.

Бу катталиклардан асосийси механик иш ёки кучнинг иши ҳисобланади. Шунинг учун ҳам энг аввало, иш тушунчasi билан танишамиз.

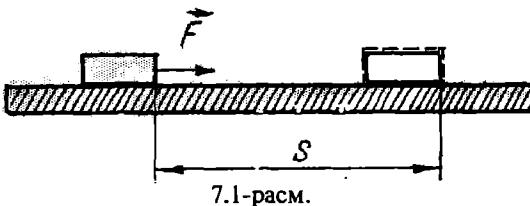
### **36-§. МЕХАНИК ИШ**

Кундалик ҳаётимиизда иш тушунчасидан жуда кўп фойдаланамиз. Масалан, маъруза ўқиётган ўқитувчи, китоб ўқиётган талаба, кўшиқ айтиётган 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 кундадик ҳаётимизда қўлланиладиган иш тушунчасидан тубдан фарқ қиласди. Механик иш ҳаракат билан боғлиқ бўлиб, жисм ташки куч таъсирида бир жойдан иккинчи жойга кўчиш натижасида амалга ошади. Фараз қиласлик, стол устида турган жисмга  $F$  ташки куч таъсир этсин. Жисм бу куч таъсирида куч йўналиши бўйича  $S$  масофага кўчиб, ўзининг механик вазиятини ўзгартирсиз (7.1-расм). Маълумки,  $F$  куч ва  $S$  масофа йўналишлари мос тушса, у ҳолда куч модулининг кўчиш модулига кўпайтмаси кучнинг бажарган ишига тенг бўларди, яъни

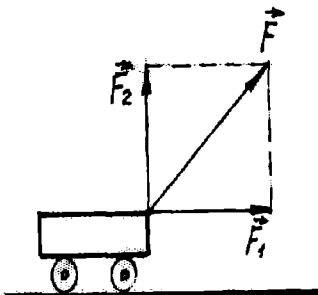
$$A = F S \quad (1)$$

бунда,  $A$  — кучнинг бажарган иши, у 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 ташишга мўлжалланган аравани арқон билан боғлаб, от таъсирида ҳаракатга келтирсан, таъсир этувчи (отнинг тортиши) куч йўналиши билан араванинг кўчиши орасида  $a$  бурчак ҳосил бўлади (7.2-расм).



7.2-расм.

Бу ҳолда ишни ҳисоблаш учун  $F$  күчнін ўзаро перпендикуляр бўлган иккита ташкил этувчиларга ажратамиз, яъни  $F_1$  ва  $F_2$  күчларга ва таъсир этувчи күчні  $F = F_1 + F_2$  йигинди шаклида топамиз. Механик иш юқорида эслатганимиздек скаляр катталик 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 орасида ги 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 қиласди. 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  $\alpha$  бўрчак 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 ( $J$ ) деб аталади.

$$1J = 1N \cdot 1m = 1 \frac{kg \cdot m}{s^2} \cdot 1m$$

Бундан ташқари иш бирлиги сифатида тизимдан ташқари бирликлар ҳам кўлланилади.

$$1 \text{ ватт соат} = 1 \text{ Вт} \times \text{с} = 3600 \text{ J} = 3,6 \times 10^3 \text{ J}$$

$$1 \text{ гектоватт соат} = 1 \text{ ГВт} \times \text{с} = 360000 \text{ J} = 3,6 \times 10^6 \text{ J}$$

$$1 \text{ киловатт соат} = 1 \text{ кВт} \times \text{с} = 3600000 \text{ J} = 3,6 \times 10^6 \text{ J}$$

$$1 \text{ меговатт соат} = 1 \text{ МВт} \times \text{с} = 36000000000 \text{ J} = 3,6 \times 10^9 \text{ J}$$

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 (нотенциал) кучларга бўлиниди. Бажараган 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 қиласидиган одам маъносини билдиради. Бундай кучларга тортишиш кучлари, эластиклик кучлари, зарядланган жисмлар орасидаги электростатик тортишиш ва итаришиш кучлари киради.

Бажараган ишларй йўл шаклига боғлиқ бўлган кучларга ноконсерватив кучлар дейилади. Ишқаланиш кучлари, қаршилик кучлари ноконсерватив кучлардир.

Консерватив кучларнинг бажараган ишини аниқлаш учун т массали жисмнинг оғирлик кучи таъсирида  $h$  баландликдан тушишдаги бажараган ишини ҳисоблаш керак (7.3-расм). Агар жисм 1 ҳолатдан 2 ҳолатга эркин тушади деб олинса, у ҳолда оғирлик кучининг бажараган иши қуидагича топилади:

$$A_{1,2} = Ph = mg h.$$

Агар шу жисм қия текислик бўйлаб ишқаланишсиз сирпаниб 1 ҳолатдан 3 ҳолатга тушса ва ишқаланишсиз горизонтал йўналишида 3 ҳолатдан 2 ҳолатга кўчса оғирлик кучининг бажараган иши 1-3 ва 3-2 ҳолатларга мос келган ишларнинг йигиндисига тенг бўлади

$$A_{1,2,3} = A_{1,3} + A_{3,2}.$$

1-3 ҳолатга ўтишда бажарилган иш  $A_{1,3} = P \cos \alpha \cdot h$ ,  $\cos \alpha = \frac{h}{S}$  дан

$h = S \cos \alpha$  эканини ҳисобга олсак,  $A_{1,2,3} = mg h$  келиб чиқади, чунки  $A_{2,3} = P \cos 90^\circ = 0$ . Натижадан кўриниб турибдики, оғирлик кучининг иши йўлнинг шаклига боғлиқ бўлмай, балки жисмнинг бошланғич ва охирги вазиятига боғлиқ экан.

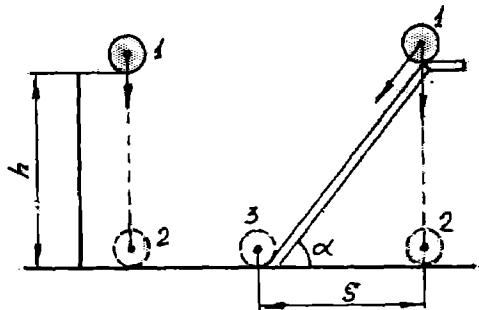
Энди иш билан энергия ўртасидаги боғланишни аниқлашга киришамиз.

### 1. Кинетик энергия ва иш

Энергия универсал катталик 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  $F=const$  таъсир қилсин. Бу куч таъсирида жисм тўғри чизиқли тезланувчан ҳаракат қиласди. Бундай ҳаракатда жисмнинг тезланиши ўзгармас бўлади, яъни  $a=const$ . 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,

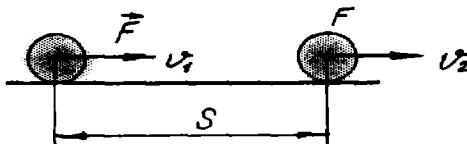


7.3-расм.

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,

$$F = ma = m \frac{V_2 - V_1}{t} \text{ ва } S = V_{ypr} t = \frac{V_1 + V_2}{2} t ,$$



7.4-расм.

$$A = Fs = m \frac{V_2 - V_1}{t} \frac{V_1 + V_2}{2} t = \frac{m}{2} (V_2^2 - V_1^2)$$

Бажарилган иш

$$A = \frac{m V_2^2}{2} - \frac{m V_1^2}{2}$$

Формулада  $\frac{m V^2}{2}$  ҳад жисмнинг охирги вазиятини,

$\frac{m V_1^2}{2}$  ҳад эса бошланғич вазиятини ифодалайди.

Куч таъсирида жисмнинг кинетик энергияси ўзгаради, демак,  $\frac{m V^2}{2}$  ҳад куч таъсири қўйилган пайтдаги кинетик

энергияси,  $\frac{m V_1^2}{2}$  ҳад эса жисмнинг куч таъсири тўхтаган пайтдаги кинетик энергияси бўлади, яъни

$$W_{k_1} = \frac{m V_1^2}{2}; W_{k_2} = \frac{m V_2^2}{2}$$

Шундай қилиб, қучнинг иши жисм кинетик энергиясининг ўзаришига teng 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.

Кинетик энергия тұғрисидаги теоремага ассоан кинетик энергия ҳаракатланувчи жисмни характерлайдиган физик каталил бўлиб, бу катталикнинг ўзгариши жисмга кўйилган кучнинг ишига тенг деган холосага келамиз.

Агар куч таъсирида бажарилган иш  $A > 0$  бўлиб, мусбат қийматли бўлса,  $W_{k_2} - W_{k_1} > 0$  дан  $W_{k_2} > W_{k_1}$  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  $W_{k_2} - W_{k_1} < 0$  бўлиб,  $W_{k_2} < W_{k_1}$  бўлади ва кинетик энергия камаяди.

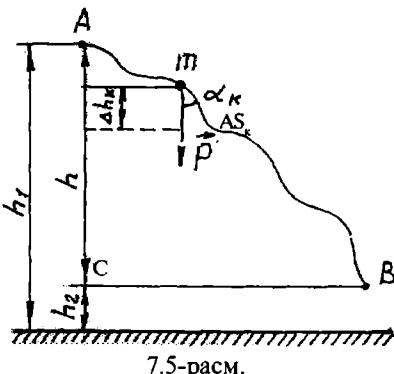
Кинетик энергиянинг бажарган ишига қўйидагиларни мисол қилиб олиш мумкин: болға билан мих қоқилганда, болғанинг кинетик энергияси ҳисобига мих қоқилади ва бу энергия ҳисобига иш бажарилади. Темирчи ҳар хил темир буюмларни ясашда тобланган темирни болға билан уриб ишлов беради, натижада темир турли шаклли буюмга айланади. Бу ҳолда ҳам болғанинг кинетик энергияси ҳисобига иш бажариляпти.

## 2. Оғирлик кучининг иши ва потенциал энергия

Фараз қиласайлик,  $m$  массали жисм 7.5-расмда кўрсатилганидек эрги 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 ишини аниқлаш. учун жисмнинг ҳаракат траекториясини кичик  $\Delta S_k$  бўлакчаларга бўлиб чиқамиз. Натижада ҳар бир бўлакча тўғри чизиқдан иборат бўлади. Ихтиёрий танлаб олинган бўлакча учун оғирлик кучи  $P$  билан кўчиш оралиғи  $\Delta S_k$  орасида  $\alpha_k$  бурчак бўлганлиги сабабли бажарилган иш қўйидаги муносабатдан топилади:

$$\Delta A_k = P \Delta S_k \cos \alpha_k = mg \Delta S_k \cos \alpha_k$$

АС 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  $\Delta A_k = P \Delta h_k$  га тенг бўлади. АВ траектория бўйича бажарилган иши ҳамма бўлакчалардаги бажарилган ишларнинг йигиндисига 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 охирги 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 ўлчанидиган катталикка 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.

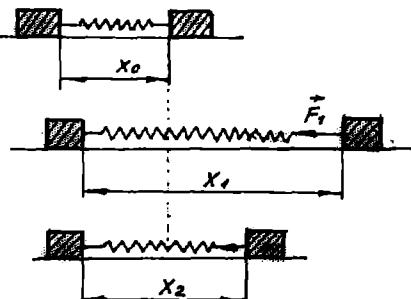
Демак, оғирлик кучининг иши жисм босиб ўтган йўлнинг траекториясига боғлиқ бўлмай, жисмнинг бошланғич ва охирги вазиятига боғлиқ экан.

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.

### 3. Эластиックлик күчнинг иши ва потенциал энергияси

Айтайлик эластиックлик 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 эластиックлик кучнинг бажарган иши қандай ҳисобланади?

Эластиックлик кучи пружина деформацияланishiга боғлиқ бўлганлиги сабабли,  $F_1$  дан  $F_2$  гача ўзгаради. Куч кўчиришга чизикли бўлиб, ўзгарувчан катталик ҳисобланади. Шунинг учун ишни ҳисоблашда күчнинг ўртacha қиймати олинади



7.6-расм.

$$F_{y_{pi}} = \frac{F_1 + F_2}{2}.$$

Бироқ эласитклик куч  $F = kX$  ни ҳисобга олсак,  $F_1 = kX_1$ ;  $F_2 = kX_2$  бўлади. Шунинг учун ўртacha куч

$$F_{y_{pi}} = \frac{kX_1 + kX_2}{2} = \frac{K}{2}(X_1 + X_2) \text{ бўлади.}$$

Бажарилган иш

$$A = F_{y_{pi}} \times S = \frac{k}{2}(X_1 + X_2)(X_1 - X_2) = \frac{k}{2}(X_1^2 - X_2^2)$$

ёки

$$A = \frac{kX_1^2}{2} - \frac{kX_2^2}{2}.$$

Эластиックлик куч таъсирида иш бажарилиб, пружинанинг потенциал энергияси ўзгаради. Формуладаги  $\frac{kX_1^2}{2}$  ҳад пружинанинг

жинанинг бошланғич вазиятдаги энергияси,  $\frac{kX^2}{2}$  ҳад эса

пружинанинг охирги вазиятдаги потенциал энергиясини ифодалайди. Демак,

$$A = W_{p1} - W_{p2} = - (W_{p2} - W_{p1}) = - \Delta W_p$$

Шундай қилиб, эластиклик күчнинг иши қарама-қарши ишора билан олинган потенциал энергия ўзгаришига тенг. Манфий ишора эластиклик кучи бажарган иш натижасида потенциал энергия камайғанлигини билдиради.

Мисол учун, девор соат қалит билан буралғанда соат механизмнинг пружинаси потенциал энергияга ҳамда иш бажариш қобилиятига эга бўлади ва соат механизми ҳарарат қиласиди.

Маълум бўлдики, барча ҳолларда F күчнинг иши энергиянинг ўзгаришига тенг, яъни күчнинг иши бир турдаги энергиянинг бошқа турдаги энергияга айланишининг ўлчови экан.

$$A = \pm \Delta W$$

Шунинг учун ҳам ҳалқаро бирликлар тизимида энергия бирлиги иш бирлиги каби Жоуль бўлади. Энергия скáляр катталик ҳисобланади.

## 38-§. ҚУВВАТ

Кундалик ҳаётимизда турли хил механик ишларни кузатмиз. Бироқ бу ишларнинг бажарилиши вақти турлича эканligига қўйидаги мисоллар орқали ишонч ҳосил қўламиз. Ерни ҳайдашда (ишлов беришда) одам меҳнат куроли кетмон ёки белкурак ёрдамида ишлов берган майдондаги ишини ерга ишлов берувчи трактор қисқа вақтда бажаради. Оғир юкни кўтариш крани бақувват одамга нисбатан тезроқ белгиланган жойга чиқариб қўяди. Бизни ишни бажариш тартиби қизиқтирумай, балки ишни бажариш жадаллиги қизиқтиради, бошқача айтганда, машина ва механизм-лар ёрдамида иш бажарилганда бир турдаги энергияни бошқа турдаги энергияга айланиш тезлиги, яъни иш бажариш тезлиги қизиқтиради. Юқоридаги мисолларимизда, ерга ишлов берадиган тракторнинг ёнилғи энергияси механик ва ички энергияга, кўтариш крани электр энергияси эса механик энергияга айланади. Энергиянинг айланиш тезлигини — иш бажариш жадал-

лигининг моҳиятини белгилаш учун муҳим катталик — қувват тушунчасидан фойдаланилади. Қувват одатда  $N$  ҳарфи билан белгиланади. Машина ва механизмларнинг қуввати деб бирлик вақт ичida бажарилган ишга миқдор жиҳатидан тенг бўлган скаляр катталика 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 катталики, бунда 1с ичida 1Ж га тенг иш бажарилиши керак. Техникада кўпроқ қувват бирлиги сифатида  $1 \text{ кВт} = 10^3 \text{ Вт}$  ва  $1\text{МВт} = 10^6 \text{ Вт}$  кўлланилади.

Автомобиль ва бошқа ҳарақатланувчи механизмларнинг қувватини аниқлашда от кучидан фойдаланилади. 1 о.к. = 735 Вт.

Кўпинча ҳарақат қилувчи машина ва механизмлар: самолёт, ракета, сунъий йўлдошлар, кема ва бошқалар ўзгармас тезлик билан ҳарақат қиласди. Бундай ҳарақат, ҳарақатланувчи машиналарнинг тортишиш кучи қаршилик кучига модуль жиҳатидан тенг бўлади ва қарама-қарши йўналганда амалга ошади. Агар ҳарақат ўзгарувчан бўлса, қувват ҳам вақт ўтиши билан ўзгаради, у ҳолда қувватнинг оний қиймати. Агар ҳарақат 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, ҳарақатланувчи машинанинг қуввати ўзгармас бўлганда тезлик таъсир этувчи кучга тескари пропорционал бўлади. Мана шу принцип асосида машиналарнинг тезликлар тақсимоти қутиси ишлайди. Шунинг учун автомобиль ҳайдовчиси тепаликка чиқишида тортишиш кучи энг катта бўлиши керак бўлганда двигателни кичик тезликка ўтказади.

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 ўртacha қийматини топиш мақсадга мувофиқ келади, шунинг учун  $V$  тезликни  $V_{\text{урт}}$  тезлик билан алмаштириб, ўртacha қувват топилади

$$N_{\text{урт}} = FV_{\text{урт}}.$$

**ЭСЛАТМА:** жуда катта тезликларда (самолёт, кема) муҳитнинг қаршилик кучи тезликнинг квадаратига 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 КОЭФФИЦИЕНТИ

Ҳар қандай ҳаракат қилувчи машиналар двигател ёрдамида ҳаракатга келтирилиб, маълум бир ишни бажаришга мўлжалланади. Двигателнинг ҳаракати давомида энергиянинг сақланиш қонуни қатъян бажарилади, чунки сарфланган энергия миқдори њеч қачон олинган энергиядан ортиқ бўмайди. Масалан, ерга ишлов берувчи тракторнинг двигатели ишлаганда ёнилғи энергиясининг учдан бир қисми механик энергияга айланаб, иш бажаради. Қолган учдан икки қисм энергия фойдасиз ишга сарф бўлади. Фойдасиз иш асосан қаршилик кучини енгис учун амалга ошади. Фойдали иш эса доимий тўлиқ ишдан кам бўлади.

Машиналар бажарган ишдан унумли фойдаланиш мақсадида фойдали иш коэффициенти тушунчаси киритилади.

**Фойдали иш коэффициенти** деб сарфланган тўлиқ ишнинг қанча қисми фойдали ишни ташкил қилганини кўрсатувчи ўлчамсиз катталикка айтилади, яъни

$$\eta = \frac{A_\Phi}{A_r}$$

Формуладаги  $\eta$  — фойдали иш коэффициенти ( $\eta$ - эта);  $A_\Phi$  — фойдали иш;  $A_r$  — 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

$$\eta = \frac{A}{A_T} \cdot 100\%$$

билин ифодаланади.

Фойдали иш  $A_\phi = N_\phi t$  ва тўлиқ иш  $A_t = N_t t$  бўлгани учун ФИКни қувват орқали қуидагича ёзиш мумкин:

$$\eta = \frac{N_\phi}{N_t} \quad \text{ёки} \quad \eta = \frac{N_\phi}{N_t} \cdot 100\%$$

Куидаги жадвалда баъзи бир мосламаларининг фойдали иш коэффициенти келтирилган:

МОСЛАМАЛАР	Фойдали иш коэффициенти % ларда
Чўгланма электр лампа	3,0
Кундузги ёргуллик лампа	25
Карбюраторли двигател	25
Дизел двигатели	35-40
Турбовинтили двигател	30
Иссиқлик электр станциялари	25
Электровоз	90
Кувватли электродвигател	95
Кувватли ўзгарувчан ток генератори	97-98
Кувватли электр трансформатор	98-99

Фойдали иш коэффициентнинг можияти 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 коэффициенти 0,2 га ва эркин тушиш тезланиши  $10 \text{ м/с}^2$  деб олинсин.

Берилган:

$$m = 1000 \text{ кг};$$

$$\alpha = 30^\circ;$$

$$a = 0,2 \text{ м/с}^2;$$

$$S = 100 \text{ м};$$

$$\mu = 0,2;$$

$$g = 10 \text{ м/с}^2$$

Топиш керак:

$$A?$$

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;  $F_c = mgsin\alpha = P \sin\alpha$  пастга судровчи ва  $F_N = P \cos\alpha = mg \cos\alpha$  ташкил этувчи кучларни аниқлаб, динамиканинг II қонунини қўллаймиз, яъни  $ma = F_t - mgsin\alpha - mg \cos\alpha$  бўлади.

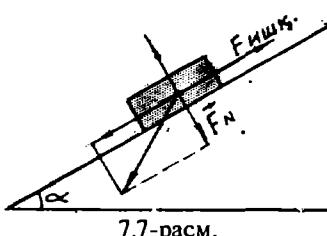
Ишқаланиш кучи чизмага асосан  $F_{\text{ишк.}} = \mu F_N = \mu mg \cos\alpha$  бўлади. У ҳолда  $ma = F_t - mgsin\alpha - \mu mg \cos\alpha$  ни ёзиш мумкин. Тортиш кучи  $F_t = m(a + g \sin\alpha + \mu mg \cos\alpha)$  бўлади ёки  $F_t = ma + g \sin\alpha + mg \mu \cos\alpha$  бўлади.

Бажарилган иш  $A = F_t \times S = m(a + g \sin\alpha + \mu g \cos\alpha) \times S$

$$A = 1000_{\text{кг}} \times \left( 0,2 \frac{m}{c^2} + 10 \frac{m}{c^2} \times \frac{1}{2} + 0,2 \times 10 \frac{m}{c^2} \times 0,866 \right) \times 100_{\text{м}} = 1000_{\text{кг}}$$

$$\left( 0,2 \frac{m}{c^2} + 5 \frac{m}{c^2} + 1,732 \frac{m}{c^2} \right) \times 100_{\text{м}} = 1000_{\text{кг}} \times 6,932 \frac{m}{c^2} \times 100_{\text{м}} = 693200 = 693$$

Ечиш. Масалани ечиш учун чизма чизамиз (7.7-расм).



7.7-расм.

**Жаоб. А = 693 кН.**

**2-масала.** Бирлиги  $K=29,4 \text{ Н/см}$  бўлган пружинани  $X=5\text{см}$ .  
га сиқиш учун қанча иш бажарилади?

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. Пружина сиқилганда  
бажарилган иш потенциал  
энергиянинг ўзгариши ҳи-  
собига амалга ошади,

$$\text{яъни } A = \Delta W_p = \frac{KX^2}{2}$$

Ҳисоблашларни амалга оширасак

$$A = \frac{29,4 \times 10^2 \frac{\text{Н}}{\text{м}} \times (5 \times 10^{-2})^2 \text{ м}^2}{2} = \frac{29,4 \times 10^2 \times 25 \times 10^{-4} \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \times \frac{\text{Н}}{\text{м}}}{2} = \\ = \frac{735 \times 10^{-3}}{2} \text{ Н} \times \text{м} = 367 \times 10^{-3}$$

**Жаоб. А=367×10<sup>-3</sup> Ж** максимал бўлади.

**3-масала.** т массали шар  $\ell$  узунликдаги ипга осилган,  
агар тизимни  $90^\circ$  бурчакка оғдириб қўйиб юборилса тизим  
тебранма ҳаракатга келади. Бу ҳолда ипнинг максимал таран-  
гловчи кучи қандай қийматга эришади?

Берилган:

$$\alpha=90^\circ \approx 1,57 \text{ рад}$$

Топиш керак:

$$F_r - ?$$

Ечиш. Масалани ечиш учун қўйидаги

7.8-расмни чизамиз. Шар В нуқтада

бўлганда ипнинг таранглик кучи

максимал бўлади. Бу нуқтада шарга

ипнинг  $F_r$  таранглик кучидан ташқари оғирлик кучи ҳам  
таъсир этади. Динамиканинг II қонунига асосан У ўқидаги  
проекцияси  $F_r - mg = ma_y$  бўлади.

Тезланиш марказига интилма  $a = \frac{V^2}{R}$  ва  $R=\ell$  ни ҳисобга

олсак,  $F_r = mg + \frac{mV^2}{2}$  га тенг бўлади.

**Жавоб.** Тарангловчи күч

$$F_T = mg + \frac{mV^2}{2}.$$

**4-масала.** Одам аравача ичидә туриб иккинчи аравачани итариб ҳаракатга келтиради. Иккала аравача ҳаракатта 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:

$$\frac{S_1}{S_2} \rightarrow ?$$

тenglamani

Ечиш. Импульснинг сақланиш қонуни бўйича ўзаро таъсир натижасида ҳаракат йўналишлари  $X$  ўқ бўйича амалга

ошганлиги сабабли қуйидаги

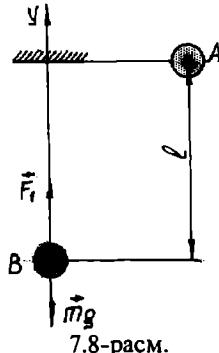
ёзиш мумкин:

$$m_1 V_1 - m_2 V_2 = 0 \text{ ёки } m_1 V_1 = m_2 V_2 \\ m_1 = 4m_2 \text{ ни ҳисобга олсак, у ҳолда тенглама } 4m_1 V_1 = m_2 V_2$$

тенг бўлади. Бундан  $V_1 = \frac{V_2}{4}$  га тенглиги келиб чиқади. Ташки кучнинг бажарган иши кинетик энергиянинг ўзгаришига тенг эди.  $\vec{A} = \Delta Wg = -\frac{mV^2}{2}$ . Бажарилган иш  $A = -F_{\text{норм}} \times S = -\mu mgS$  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.



7.8-расм.

Иккинчи аравача учун  $\frac{V^2}{2} = \mu g S_2$  келиб чиқади.

Тенгламаларни бўлсак  $\frac{S_1}{S_2} = \frac{V^2}{V_2^2}$ .

$V_1$  тезликни охирги 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 м /с<sup>2</sup> тезланиш билан тинч турган юкни 10 с давомида кўтариб,  $590 \times 10^4$  Н иш бажарган. Ўкнинг массасини аниқланг.

Берилган:

$$a=2\text{м}/\text{с}^2$$

$$t=10\text{ с}$$

$$A=590\times 10^4\text{ Н}$$

$$V_0=0$$

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, қуидаги формулани ёзиш мумкин:

$$F - mg = ma \quad \text{ёки} \quad F = m(g+a).$$

Юк  $t$  вақт ичida  $S = \frac{at^2}{2}$  масофага кўчади, чунки бошлангич тезлиги  $V_0 = 0$ . Куч ва кўчишни иш формуласига қўйиб,  $A = m(g+a) \times \frac{at^2}{2}$  ишни топамиз. Бундан

кўйиб,  $A = m(g+a) \times \frac{at^2}{2}$  ишни топамиз. Бундан

$m = \frac{2A}{(g+a)at^2}$  ни ёзиш мүмкін, сон қийматларини қўйиб  
ҳисоблаймиз

$$m = \frac{2 \times 59 \times 10^4}{\left(9,8 \frac{m}{c^2} + 2 \frac{m}{c^2}\right) \times 2 \frac{m}{c^2} \times 100 c^2 - 23,6 \frac{m^2}{c^2}} = \frac{11800}{= 500 \text{ кг}}$$

Жағоб.  $m = 500 \text{ кг.}$

**6- масала.** Мотоцикл массаси ҳайдовчиси билан биргалиқда 200 кг. Мотоцикл жойидан қўзғалиб, қиялиги 0,02 бўлган тепалик бўйлаб 100 м масофага кўчганда 10 м/с тезликка эриши. Ишқаланиш коэффициенти 0,05 га тенг бўлса, мотоцикл моторининг ўртача қувватини топинг

Берилган:

$$V = 20 \text{ м/с};$$

Топиш керак:

$N_{\text{упт}}=?$

Ечиш. Мотоциклчи ҳаракати  $V = \sqrt{2aS}$

$$\text{формуладан } a = \frac{V^2}{2S} \text{ тезланиш билан,}$$

$$t = \frac{V}{a} = \frac{V}{\frac{V^2}{2S}} = \frac{2S}{V}$$

вақт давом этади.

Мотоциклга тезланиш берувчи тортиш кучи билан бир қаторда ишқаланиш кучи  $F_{\text{ишк}} = \mu mg$  ва судровчи куч  $F_c = mgsin\alpha$  таъсири этади.

Ньютоннинг II қонунига асосан

$$F_i = F_{\text{ишк}} + F_c + F = \mu mg + mgsin\alpha + ma \text{ га тенг}$$

$$F_i = m(\mu g + sin\alpha + a) = m[g(\mu + sin\alpha) + a] = m \left[ g(\mu + sin\alpha) + \frac{V^2}{2S} \right]$$

Ўртача қувват

$$N_{\text{упт}} = \frac{A_{\text{упт}}}{t} = \frac{F_{\text{упт}} S}{t} = \frac{F_T S}{t} = \frac{mS}{t} \left[ g(\mu + sin\alpha) + \frac{V^2}{2S} \right] =$$

$$\frac{mS}{V^2} \left[ g(\mu + \sin \alpha) + \frac{V^2}{2S} \right] = \frac{mV}{2} \left[ g(\mu + \sin \alpha) + \frac{V^2}{2S} \right]$$

$$N_{ypT} = \frac{200 \kappa_l \times 10^V}{2} c \left[ 9,8 \frac{M}{c^2} (0,05 + 0,02) + \frac{100 M^2 / c^2}{2 \times 100 \kappa_l} \right] = \\ = 1000 \frac{\kappa_l \times M}{c} \left[ 9,8 \frac{M}{c^2} (0,07) + 0,5 \frac{M}{c^2} \right] = 1000 \frac{\kappa_l \times M}{c} \times 1,186 \frac{M}{c^2} = \\ = 1186 \frac{H \times M}{c} = 1186 \frac{H}{c} = 1186 BT$$

**Жағоб.**  $N_{ypT} = 1186 \text{ Вт.}$

**7-масала.** 20 м/с тезлик билан учиб келаётган массаси 0,6 кг бўлган футбол котогини дарвазабон 0,1 с ичидага ушлаб олиши керак бўлса, дарвазабоннинг қувватини аниqlанг.

Берилган:  
 $V=20 \text{ м/с};$   
 $m = 0,6 \text{ кг};$

Ечиш. Дарвазабон копток ҳаракатига қаршилик кўрсатиб коптокни ушлайди.  
Дарвазабоннинг кўрсатган кучи

$$t = 0,1 \text{ с};$$

$$F = ma = m \frac{V}{t};$$

Топиш керак:

Дарвазабоннинг ўртача қуввати

$$N - ?$$

$$N_{ypT} = FN_{ypT} = m \frac{V}{t} \frac{V}{2};$$

$$N_{ypT} = \frac{20 \frac{M}{c}}{0,1c} \times 0,6 \kappa_l \times \frac{20 \frac{M}{c}}{2} 1200$$

**Жағоб.**  $N_{ypT} = 1200 \text{ Вт.}$

**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:	Ечиш. $W_k = \frac{mV^2}{2}$ формула ёрдамида
$P=0,08 \text{ Н};$ $S=400 \text{ м};$ $h=2 \text{ м}.$	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 бошиб 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

$$W_k = \frac{0,08H \times (4 \times 10^2)^2 M^2}{4 \times 2} = \frac{0,08H \times 16 \times 10^4 M^2}{8} = 1600 H M^2$$

**Жавоб.**  $W = 1600 \text{ Ж}$

## 41-§. МЕХАНИК ЭНЕРГИЯНИНГ АЙЛАНИШ ВА САҚЛАНИШ ҚОНЫНИ

Моддий оламда барча нарса ҳаракат қиласы. Бу ҳаракат доимо үзгариб турады, ҳаракат бир турдан бошқа турдаги ҳаракатта айланады, демек, энергия турларининг үзаро айланиси содир бўлади. Илгариланма ҳаракат қилаётган жисмлар тизимининг кинетик энергияси фақат шу жисмлар тезлигига, потенциал энергияси эса жисмларнинг бошлангич ва охирги вазиятига боғлиқ эди. Жисмлар тизими-нинг тўла энергияси унинг кинетик ва потенциал энергия-лари йиғиндисига тенг бўлиб, тизимдаги жисмларнинг үзаро 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 таъ-сири қилмасин. Бу ҳолда жисм  $S$  масофага кўчиб, потенци-ал энергия камайиши ҳисобига иш бажаради, яъни

$$A = -W_p \quad (2)$$

Иккинчи томондан жисмга консерватив куч таъсирида  $S$  масофага кўчишида кинетик энергия ортиб иш бажара-ди, бу ишнинг миқдори

$$A = W_k \quad (3)$$

(2) ва (3) tengлиқдан  $W_k = -W_p$  ни ҳосил қиласиз, Демак, кинетик ва потенциал энергияларнинг йиғиндиси  $W_t = W_k + W_p$  тўла энергияяга тенг бўлади, яъни  $W_t = W_k + W_p = \text{const}$ .

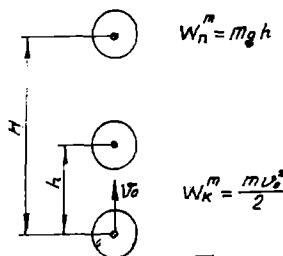
Бу ифода энергиянинг сақланиш қонунидир.

Демак, консерватив кучлар майдонида ҳаракатланаёт-ган жисмларнинг механик энер-гияси ўзгартмасидир.

Мисол учун, т массали жис-мни вертикал равишда юқорига  $V_0$  тезлик билан отсак, жисм ки-нетик энергияга эга бўлади

$$W_k = \frac{mV^2}{2} \quad (4)$$

Жисм юқорига кўтарилиши натижасида тезлиги камайиб, по-



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 кўтарилиганда кинетик энергия эса энг катта қийматга эришади

$$W_p = mgH$$

$$\text{Бу баландликнинг қиймати } H = \frac{V_0^2}{2g} \text{ эканлигини ҳисоб-}$$

га олсак, потенциал энергия миқдори қўйидагига тенг бўлади:

$$W_p = mgH = mg \frac{V_0^2}{2g} = \frac{mV_0^2}{2} \quad (6)$$

Бу формуладан қўриниб 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 қоидасидир.

Фараз қилайлик, бир-бири билан ўзаро таъсирлашувчи п 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 жойлашви 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. Түқ-нашув жараёни фазонинг кичик соҳасида жисмларнинг қисқа вақтли ўзаро таъсирида намоён бўлади. 10 см диаметрли икки пўлат шар бир-бирига қараб 5 м/с тезликда яқинлашиб тўқнашганда ўзаро таъсир 0,0005 с давом этади, аммо шарларнинг бир-бирига тегишиш соҳасида жуда катта кучлар намоён бўлади. Мисолимизда намоён бўладиган куч миқдори 40000 Н дан ортиқ бўлади. Тўқнашиш вақтида жисмлар деформацияга учрайди, натижада тўқнашувчи жисмларнинг кинетик энергиясининг бир қисми эластик деформациянинг потенциал энергиясига ва қолтан қисми жисмларнинг ички энергиясига айланаб, жисмлар ҳароратини ортириади. Тўқнашувлар икки хил бўлади, абсолют эластик ва ноэластик. Бу тўқнашувлар билан алоҳида-алоҳида танишиб чиқайлик.

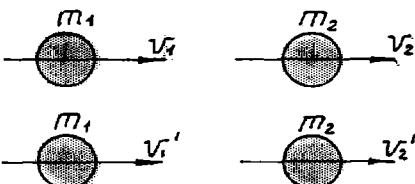
**1. Абсолют эластик тўқнашиш.** Бундай тўқнашишнинг ажойиб хусусиятлари қуидагилар: 1) тўқнашиш вақтида жисмларнинг эластик деформаци-

яланиши вужудга келади, лекин тўқнашишдан сўнг деформация бутунлай йўқолади; 2) тўқнашиш натижасида жисмларнинг кинетик энергияси эластик деформациянинг потенциал энергиясига айланади;

3) потенциал энергия жис-

млар ўз шаклини тикилаши 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 қиласийлик  $m_1$  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, иккинчиникини манфий деб оламиз. Мос ҳолда импульс ва энергиянинг сақланиш қонунлари қуидагича 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, сүнгра

$$V_1 + V_1' = V_2' + V_2 \quad (6)$$

хосил қиласиз (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 айриб, 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 айриб, иккинчи жисмнинг тўқнашишидан кейинги тезлиги учун

$$V_2' = \frac{2m_1 V_1 + (m_2 - m_1)V_2}{m_1 + m_2} \quad (9)$$

формулани аниқлаймиз. Олинган натижалар учун қўидаги хусусий ҳолларни кўриб чиқамиз:

1) Агар  $V_2 = 0$  бўлса,

$$V_1' = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} V_1 \quad (10)$$

$$V_2' = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} V_1 \quad (11)$$

формулалар хосил бўлади. Бунда,

а)  $m_1 = m_2$  бўлса,  $m_1$  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 қиласди ( $V_2'=V_1$ ).

б) Агар  $m_1 > m_2$  бўлса, биринчи жисм ҳаракат йўналиши тўқнашгунча қандай бўлса, тўқнашишдан кейин ҳам шу йўналиш бўйича бўлади, аммо тезлиги камаяди ( $V_1' < V_1$ ). Иккинчи жисмнинг тўқнашишдан кейинги тезлиги биринчи жисмнинг тўқнашишдан кейинги тезлигидан ортиқ бўлади ( $V_2' > V_1$ ).

в) Агар  $m_1 < m_2$  бўлса, биринчи жисм тўқнашишдан сўнг орқага қайтади, иккинчи жисм кичик тезлик билан олдинга ҳаракат қиласди (7.11-расм).

г) Агар  $m_2 \gg m_1$  бўлса, ( $V_1 = -V_1'$ ) ва  $V_2' \approx \frac{2m_1 V_1}{m_2} \approx 0$

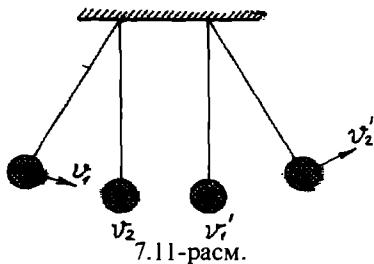
бўлади.

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 иоэластик тўқнашиш.** Бундай тўқнашишнинг ажойиб хусусияти қуйидагилардан иборат:

- тўқнашища 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 бажарilmай, аммо энергиянинг сақланиш қонуни бажарилади.

Бундай тўқнашища, мой пластилин, қўрғошин каби моддалардан фойдаланилади. Фараз қиласди,  $m_1$  ва  $m_2$  мас-



салы жисмлар бир-бирига томон  $V_1$  ва  $V_2$  тезлик билан ҳарапат 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 ёзиш мумкин:

$$V = \frac{m_1 V_1 + m_2 V_2}{m_1 + m_2} \quad (13)$$

бўлади.

Тўқнашгандан сўнг жисмлар яхлит жисм сифатида ҳаракат қиласди, 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

$$W_1^1 = \frac{(m_1 V_1 + m_2 V_2)^2}{2(m_1 + m_2)} \quad (15a)$$

Тўқнашиш натижасида энергиянинг қанча қисми ички энергияга айланганлигини топиш учун (14) дан (15a) ни айирамиз.

$$W_k - W_k^1 = \frac{1}{2} m_1 V_1^2 + \frac{1}{2} m_2 V_2^2 - \frac{(m_1 V_1 + m_2 V_2)^2}{2(m_1 + m_2)} = \frac{1}{2} \frac{m_1 m_2}{(m_1 + m_2)} (V_1 - V_2)^2 \quad (16)$$

формулани ҳосил қиласыз. (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.

Холосалаб шуни қайд этамиз, абсолют ноэластик түқнашишда диссипатив күчлар таъсирида механик энергия сарфи (камайиши) юзага келади.

# ГИДРОСТАТИКА ВА АЭРОСТАТИКА АСОСЛАРИ

Механиканинг газ ва суюқликларнинг мувозанатлик ҳолатини ўрганувчи бўлимига гидроаэростатика деб аталади. Грекча «гидро — сув», «аэро — ҳаво», «статос — тинч» деган сўзлардан 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 бўлгандиги сабабли, улар эркин ҳаракат қиласи. Натижада молекулалар ўзаро тўқнашиб, идишнинг бутун ҳажмини эгаллади. Газнинг босими унинг ҳажми билан аниқланади.

Суюқликлар ҳам газ сингари қўйилган идиш шаклини эгаллади, лекин суюқлик молекулалари орасидаги ўртача масофа ўзгармайди.

Суюқлик ва газларнинг хоссалари ўртасида фарқ бўлиши билан бирга, ўхшашлик хусусиятлари ҳам мавжуд. Бу ўхшашлик уларнинг оқувчанилигида 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 бўлмаганилиги сабабли зичлиги ҳамма нуқталарда бир хил бўлади ва вақт ўтиши билан ўзгармайди, шунинг учун ҳам кам сиқилювчан 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 катталик босимдир. Босим деб сиртнинг бирлик юзи-

га тик равищда таъсир этувчи кучга тенг бўлган катталикка айтилади ва Р ҳарфи билан белгиланади. Босим бирлиги қилиб,  $1\text{m}^2$  юзага тик равищда таъсир этаётган 1 Н куч ва

юзани S билан белгиласак,  $P = \frac{F}{S}$  формула билан аниқлаб,

$\text{Н}/\text{м}^2$  бирлик қабул қилинади ва француз олимни Паскаль шарафига Паскаль (Па) деб аталади:  $1\text{H}/1\text{m}^2 = 1\text{Pa}$ .

Бу бирликдан ташқари техник атмосфера (ат)  $1\text{at}=9,8 \cdot 10^4 \text{ Pa}$ , физик атмосфера (атм);  $1\text{atm} = 1,013\text{at} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ ; миллиметр симоб устуни (мм сим.уст.): 1 мм. сим.уст. = 133,3 Па, об-ҳавони аниқлашда бир 1 бар =  $10^5 \text{ Pa}$ , миллиметр сув устуни ( $4^\circ\text{C}$ ) 1 мм. сим.уст =  $9,8 \text{ Pa}$ . 1 мм. сим. уст =  $1,03 \cdot 10^4 \text{ mm. сув уст.}$  ( $4^\circ\text{C}$  даги сув учун) бирликлар ҳам системадан ташқари ишлатилади.

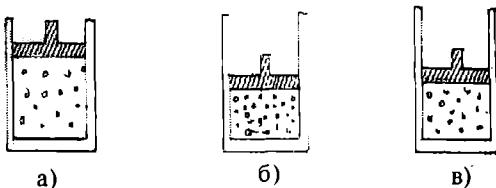
Босим формуласидан кўриниб турибдики, босим кучи таъсирининг натижаси мазкур куч қийматигагина боғлиқ бўлмай, куч таъсири узатилаётган сирт юзига ҳам боғлиқдир. Мисол учун, қор устида юрган одам ҳар қадамда қорга ботади, агар оёғига чанғи бойлаб олса, қорга ботмай текис юра олади. Ёки ботқоқлик ердан ўтища одамлар оёғига юзаси кенг қилиб тайёрланган шиппакдан фойдаланганларини эсга олиш кифоя. Бунга сабаб одамнинг оғирлиги туфайли вужудга келаётган босим кучининг таъсири турлича бўлишидир.

Маълумки, қаттиқ жисмларга бериладиган босим кучи таъсири 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 ҳарақатчанлигини билдиради.

Фараз қилайлик эркин ҳаракат қила оладиган поршенили цилиндр ичига газ ёки суюқлик жойлаштирилган бўлсин. Газ зарралари идишнинг бутун ҳажми бўйича бир текисда тақсимланган бўлади (8.1-расм).

Куч таъсирида поршени ҳаракатлантириб цилиндр ичига киритамиз (8.1-расм, а), натижада поршен остидаги газ сиқилади, газ заррачалари зичроқ жойлашади (8.1-расм, б). Газ заррачалари ҳаракатчанлиги туфайли идиш ичидага ҳамма

йўналиш бўйича силжийди. Маълум вақтдан сўнг заррачалар яна бир текисда жойлашади (8.1-расм.в). Бу эса газ босими ортганлигини билдиради. Кўшимча 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 остики 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 қиласи, бу босим гидростатик босимдир. Фараз қилайлик,  $S$  кўндаланг қесим юзали цилиндр идишга  $h$  баландликка тенг бўлган суюқлик қўйилган бўлсин, бу суюқлик устунининг оғирлиги  $P$  бўлса, у ҳолда идиш тубига берилган босим

$$P = \frac{P}{S} = \frac{mg}{S} = \frac{dV}{S} = \frac{dSh}{S} = dh = \rho gh \quad \text{бўлади. Формулада}$$

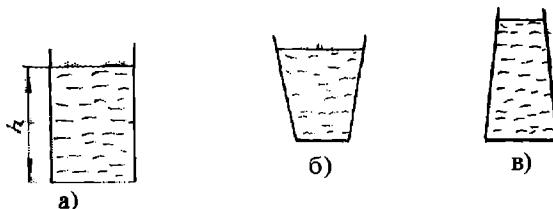
$$d = \frac{P}{m} = \frac{mg}{V} = \rho g \quad \text{суюқликнинг солиштирма оғирлиги.}$$

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 устуни оғирлигига тенг бўлади, яъни  $P = \rho S = \rho ghS$ . Гидростатик босим суюқлик сиртидаги минимал қийматдан ( $h=0$ ) максимал қийматгача ўзгариши туфайли идиш тубидаги босим билан идишнинг ён деворига берилган

босимлар ўртасида фарқ бўлади.  $P_{\text{тв}} = \rho gh$   $P_{\text{EH}} = \rho g \frac{h}{2}$  чунки

$h=0$  ва  $h \neq 0$  даги босимларнинг ўртача қиймати олинади. Идиш тубига берилган босим, идиш ён томонига берилган ўртача босимдан икки марта катта экан.



8.2-расм.

Агар туаш 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 қуидагича топилади:  $\rho_1 gh_1 = \rho_2$

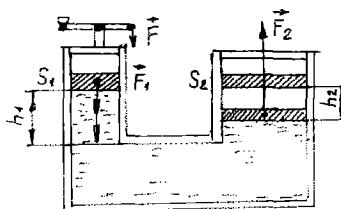
$gh_2$  дан  $\frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}$  формуладаги  $\rho_1$  ва  $\rho_2$  — суюқлик зич-

ликлари;

$h_1$  ва  $h_2$  — суюқлик устуни баландликлари.

Демак, суюқлик устуни нинг баландлиги туаш идишлардаги суюқлик зичлиги кам бўлганда катта бўлади.

Паскаль қонуни асосида гидравлик пресс ишлайди. Гидравлик пресс диаметлари ҳар хил бўлган, ўзаро туашган икки цилиндр ва улар ичига ҳаракатлана оладиган поршенлардан иборат (8.3-расм). Поршенларнинг юзалари мос равишда  $S_1$  ва  $S_2$ . Цилиндрларга трансформатор ёғи қуилади.



8.3-расм.

Паскаль қонунига асосан поршеннлар остидаги босим бир хил бўлади.  $P_1 = P_2$ , Кичик поршенга  $F_1$  катталикдаги куч тик

равишида таъсир этсин. Натижада суюқликда  $P = \frac{F_1}{S_1}$  босим

вужудга келади ва иккинчн поршенга узатилади. Иккинчи поршеннинг юзи  $S_2$  бўлганилиги 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  $\frac{F_2}{F_1} = \frac{S_1}{S_2}$  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 қиласлик  $F$ , 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 равишида 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 механизмининг олтин қоидасига 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 қўтаришда, пресслаш ишларида кенг қўлланилади.

## 44-§. АРХИМЕД ҚОНУНИ

Гидростатик босим суюқликка ботирилган жисмга ҳар томонлама таъсир этади. Фараз қиласлик, куб шаклидаги жисм суюқликка 8.4-расмда кўрсатилгандек туширилган

бўлсин. Суюқликка ботирилган жисмнинг ён сиртларига, устки ва ости асосларига гидростатик босим таъсир қиласди. Ён сиртларга таъсир қилувчи суюқлик босимлари ўзаро тент ва қарама-қарши йўналгандилклари учун ўзаро мувозанатлашган бўлади. Жисмнинг юқориги сиртига пастга йўналган  $F_1$  босим кучи таъсир этади. Бу кучнинг миқдори  $F_1 = \rho_c ghS$ , бунда,  $\rho_c$  — суюқлик зичлиги;  $S$  — куб сиртининг юзи; жисмнинг пастки сиртига юқорига йўналган  $F_2$  босим кучи таъсир этади:  $F_2 = \rho_c g (h+l) S$ .

$h + l > h$  ва  $F_2 > F_1$  шартларга асосан бу кучларнинг тент таъсир этувчиси юқорига йўналган бўлиб, Архимед кучига тент бўлади  $F_a = F_2 - F_1$ .

Архимед кучининг модули:  $F_a = \rho_c g (h+l)S - \rho_c gS = \rho_c g lS = \rho_c gV = P_c$  га тент бўлади.

Бу формулада  $V$  — кубнинг ҳажми;  $P_c$  — сиқиб чиқарилган суюқлик вазни;  $F_a$  — суюқликка ботирилган жисмга суюқлик томонидан таъсир этувчи кўтарувчи куч.

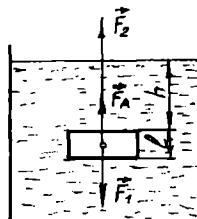
Бу кучни грек олим Архимед тажрибада аниқлагани учун, суюқликдаги жисмни юқорига кўтарувчи  $F_a$  кучга **Архимед кучи** дейилади.

Архимед қонуни: **суюқлик ёки газга ботирилган ҳар қандай жисмга шу жисм сиқиб чиқарган суюқлик ёки газнинг оғирлигига тент ва юқорига йўналган куч таъсир этади.** Бошқача айтганда, суюқлик ёки газга ботирилган жисм ўзи сиқиб чиқарган суюқлик ёки газнинг оғирлигига ўз оғирлигини йўқотади, яъни  $F_a = P_0 = \rho_c gV$

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  $P = \rho g V$  ва суюқликдаги оғирлиги  $P_1$  бўлса, Архимед кучи  $F_a = P_a = P_0 = \rho_0 gV$  га қадар кичик бўлади, яъни  $P_1 = P - F_a = P - \rho_0 gV$

Жисмнинг ҳажми  $V = \frac{P}{\rho g}$  иш ҳисобга олсанк. жисмнинг суюқликдаги оғирлиги  $P_1 = P - \rho_0 g \frac{P}{\rho g}$  ёки



8.4-расм.

$$P = P_1 - \rho \frac{\rho_0}{\rho}$$

Суюқлик зичлиги  $\rho_0$  ни гидростатик тарозида тортиб аниқланса, жисмнинг зичлиги қуийдаги формула бўйича аниқланади:

$$\rho = \rho_0 \frac{P}{P - P_1}$$

Агар жисмларнинг зичлиги маълум бўлса, суюқликнинг зичлиги  $\rho$  ни қуийдаги формуладан топилади:

$$\rho_0 = \rho \frac{P - P_1}{P}$$

Суюқликка 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 қиласди. Бунда, 1)  $F_A$  Архимед кучи жисмнинг оғирлигидан кичик бўлса, яъни  $P > F_A(\rho_x - \rho_c)$  шартда  $F_A = P - F_A$  куч таъсирида жисм суюқлик тубига чўкади.

2)  $F_A$  Архимед кучи жисмнинг оғирлигига тенг бўлса, яъни  $F_A = P(\rho_x - \rho_c)$  шартда жисм суюқлик ичida мувозанат ҳолатида бўлади;

3)  $F_A$  Архимед кучи жисмнинг оғирлигидан катта бўлса, яъни  $F_A < P(\rho_x - \rho_c)$  шартда  $F = F_A - P$  куч таъсирида жисм суюқлик сиртига чиқади, яъни жисмнинг қалқиб чиқиш жараёни амалга ошади ва бу жараён  $F = P$  да тўхтайди, жисм қисман суюқликка ботган ҳолда суюқлик сиртида сузид юради.

Архимед кучига асосланиб, денгиз ва океанларда кемалар сузади, аэростат ва дирижабллар фазога кўтарилади.

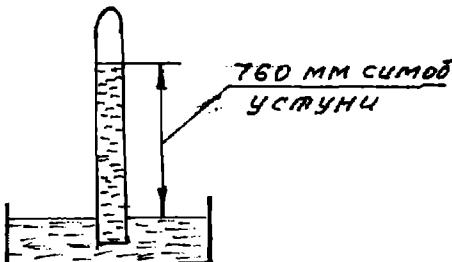
## 45-§. АТМОСФЕРА БОСИМИ. ТОРРИЧЕЛЛИ ТАЖРИБАСИ

Ҳамма жисмлар сингари Ернинг ҳаво қатлами таркибига кирувчи газларнинг молекулалари ҳам Ернинг тортишиш майдони таъсирида Ерга тортилади. Газ молекулалари суюқликлар 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 қатlam ости қатламга босим беради.

**Атмосфера босими** деб ҳаво устунининг Ер сиртига кўрсатадиган босимига айтилади. Атмосферанинг аниқ чегараси йўқ, шунинг учун ҳам суюқлик устунининг босимини ўлчагандек осонгина ўлчаб бўмайди. Атмосфера босимини биринчи бўлиб 1643 йили итальян олимни Торричелли тажриба асосида аниқлади. Тажрибанинг моҳияти қўйидагича: Узунлиги 1 м бўлган бир учи берк, қалин деворли шиша найга симоб тўлдиради. Симоб оқиб кетмаслиги учун найнинг иккинчи учини бармоқ билан беркитиб, уни тўнкарилган ҳолда симобли косага ботирилади ва симоб ичидаги найнинг учи очиб юборилади (8.5-расм).

Бунда найдаги симоб устуни баландлиги пасайланлиги кузатилади. Найдаги симоб устунидан тепада Торричелли бўшлиғи ҳосил бўлади. Торричелли бўшлиғи ҳавосиз бўлади. Найдаги симобнинг тўлиқ тўкилмаслигига сабаб, симоб устуни-



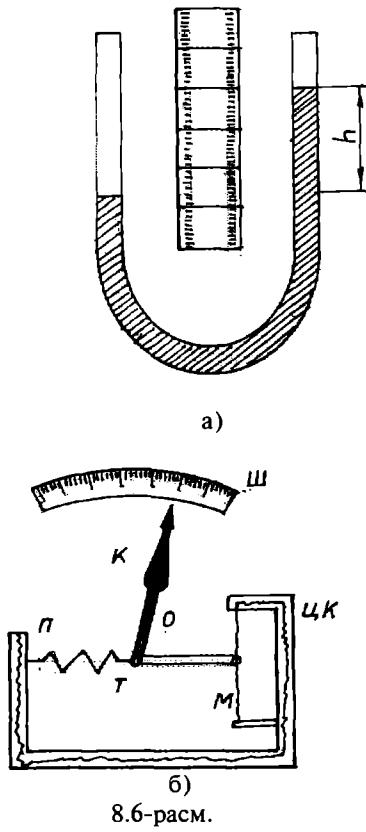
8.5-расм.

нинг пастки асосида катталиги симоб устунининг оғирлигига тенг, аммо унга тескари йўналган куч таъсир этади. Бу кучнинг юзага келишига сабаб атмосфера босимиdir. Найнинг бир учи кавшарланганлиги сабабли симоб устунининг тепасида бўшлиқ ҳосил бўлади. Идишдаги симобга Ер атмосфераси тегиб туради. Атмосфера зарраларининг оғирлигига туфайли идишдаги симоб сиртига вертикаль равища пастга йўналган атмосфера босими вужудга келади. Бу босим Паскаль қонунига биноан, суюқлик бўйлаб барча йўналишда ўзгаришсиз узатилади. Демак, симоб устуни оғирлигини мувозанатловчи куч атмосфера босими туфайли вужудга келади.

Ер сиртидан кўтарилиган сари ҳаво устунининг баландлиги ва зичлиги камайиши ҳисобига атмосфера босими ҳам камайиб боради. 8.6-расмда атмосфера босимининг баландлик бўйича ўзгариши келтирилган. Денгиз сатҳидан  $0^{\circ}\text{C}$  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 устуни ҳосил бўлади. Денгиз сатҳидан 5 км баландликда атмосфера қатлами массаси бутун атмосфера массасининг ярмига, 30 км дан 6000 км гача баландлик орасида атмосфера қатлами-нинг массаси бутун массасининг 1% ини, 6000 км дан юқори баландликларда ҳавонинг босими ва зичлиги нолга тенг бўлади. Босимнинг баландлик ортиб бориши билан камайишидан кўтарилиш баландлигини ўлчовчи барометрлар-альтметрлар ёрдамида самолётларнинг учиш баландлиги, тоғларга кўтарилиш баландлиги ўлчанади. Атмосфера босими барометрларда ўлчанади. Барометрлар симобли ёки металл барометр - анероид турларига бўлинади. Симобли барометр бир учи кавшарланган U – симон найдан иборат (8.6-расм, а). Найднинг иккинчи учи очиқ бўлганлиги сабабли унга атмосфера босими таъсир этади. 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 кутичадан иборат. Атмосфера босими ўзгариши билан барометр мембранасининг эгилиши ҳам ўзгаради (8.6-расм, б). Натижада мембрана билан туташтирилган барометр кўрсаткичи ҳаракатга келиб бурилади.



8.6-расм.

Барометр шкаласи даражаланғанлиги сабабли күрсаткич нинг күрсатишига қараб атмосфера босими аниқланади. Расмда, Ш — шкала; ЦК — цилиндрсімон камера; М — мембрана; П — пружина; О — айланиш ўқи; Т — торт-қич; К — күрсаткич. Берк идишлардаги босимни ўлчашга мұлжалланған асбобларга **манометрлар** дейилади. Манометр-лар суюқлики ва металл манометрларга бўлинади. Суюқлики манометрларда кичик босимлар ўлчанади, металл манометрлар эса катта босимлар ўлчаща ишлатилади. Суюқлики манометр U симон шаклда бўлиб, унга маълум сатҳгача суюқлик қуийлади. Бундай манометрларда суюқлик сатҳлари бир хил бўлади. Ишлаш жараёни қуидагича: 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 кавшарланган 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 күрсаткич ричаглар ёрдамида бирлаштирилган. Бу манометрлар сиқилган ҳаво ёрдамида ишлайдиган асбоблардаги босимни ўлчаща ишлатилади.

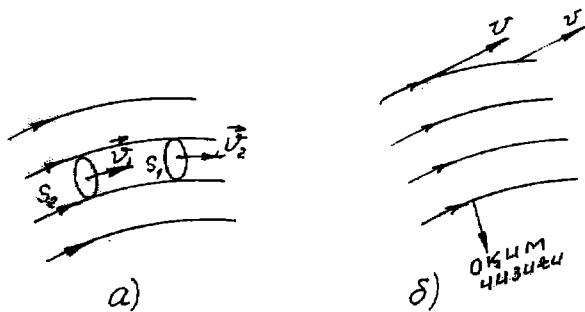
## IX боб

### 46-§. ГИДРОДИНАМИКА ВА АЭРОДИНАМИКА АСОСЛАРИ

Хозиргача 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.

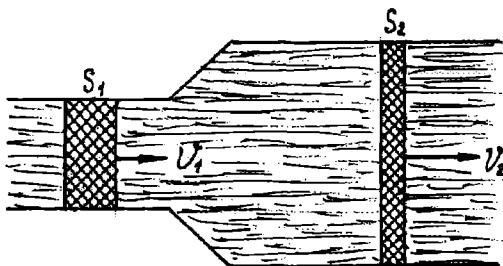
Суюқлик ҳаракатини ўрганиш учун ҳаракатдаги суюқликка бир неча калий перманганат кристалли ташланса, у ҳолда уларнинг эришидан ҳосил бўлган рангли суюқлик оқими суюқлик заррачаларининг ҳаракат траекториясини кўсатади ёки оқим чизиқларини тасвиirlайди. Суюқликнинг оқими дегандা, маълум тезлик билан ҳаракатланаётган заррачалар тўплами тушунилади. Суюқлик заррачаларининг траекторияларига **оқим чизиқлари** дейилади. Оқим чизиқлари ёрдамида суюқлик заррасининг тезлигини ҳам миқдоран, ҳам йўналиши бўйича аниқлаш мумкин. Бунда суюқлик ҳаракати йўналишига перпендикуляр жойлаштирилган бирлик юзани кесиб ўтвучи оқим чизиқларининг сони шу юзадан ўтаётган суюқлик заррачалари тезлигига пропорционал қилиб олинади (9.1-расм). Оқим чизиғининг 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. Станционар оқимда суюқлик ичидаги босимни ва унинг ўзгаришини аниқлаш муҳимdir.



9.1-расм.

Шунинг учун оқим найи тушунчаси киритилади. Оқим найи деб, одатда бирор сирт юзини кесиб ўтувчи оқим чизиқлари түплемига айтилади. Фараз құлайлық, оқим найининг күндаланг кесимлари мос равишида  $S_1$  ва  $S_2$  бўлсин (9.2-расм). Бу кесимлардаги суюқлик оқими тезликлари  $V_1$  ва  $V_2$ , суюқлик зичликлари  $r_1$  ва  $r_2$  бўлса, оқимнинг стационарлик шартига асосан  $S_1$  ва  $S_2$  күндаланг кесимлардан ваqt бирлигига оқиб ўтадиган суюқлик массалари ўзаро teng бўлади, яъни  $m_1 = \rho_1 V_1 S_1$  ва  $m_2 = \rho_2 V_2 S_2$



9.2-расм.

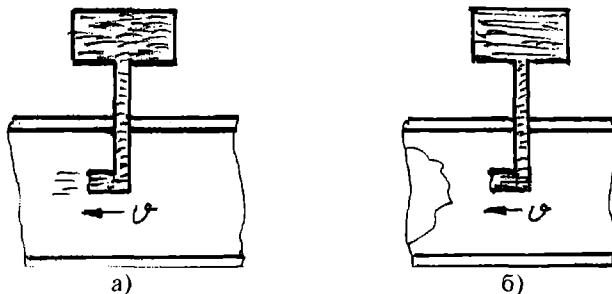
Одатда суюқликларнинг ҳаракатини ўрганишда ишқала-ниш кучлари нолга teng ва сиқилмайди деб идеал суюқлик тушунчасидан фойдаланилади. Идеал суюқликларда, яъни суюқлик зичликлари ўзаро teng бўлганлиги ҳисобга олинса, яъни қуйидаги tengликни ёзиш мумкин бўлади:  $r_1 = r_2$  бу ифодага **узлуксизлик тенгламаси** дейилади. Демак, оқим найи нисбатан ингичка бўлган соҳаларда оқим тезлиги катта, аksинча, оқим найи кенг бўлган қисмларда эса оқим тезлиги

кичик бўлади. Сиқилмайдиган суюқликларнинг ҳамма нуқтасида суюқлик зичлиги бир хил бўлганлиги учун суюқлик ҳажмининг сақланиш қонуни ўринли бўлади  $SV=const$ .

Бу ифодадан оқим тезлиги най кесимининг юзасига тескари 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.

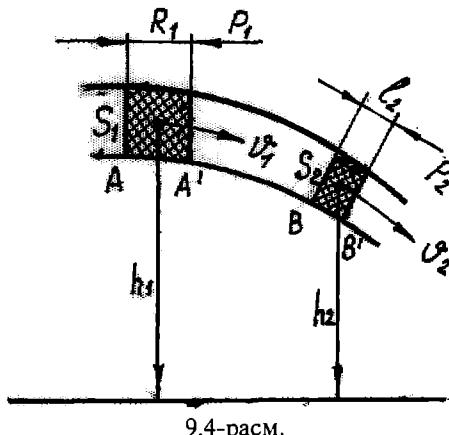
Ламинар (лотинча сўз бўлиб, *laminia* – қатлам маъносини билдиради), оқимни ўрганиш учун, сувнинг оқиши бўйича оқим ичига рангли суюқлик заррасини киритамиз. Оқим тезлигини ўзгартириб, кичик тезликларда рангли заррача сувда ёйилиб кетмади ва ўз шаклини сақлайди. Бу эса суюқлик заррачалари бир қатламдан иккинчи қатламга ўтмаётганлигини билдиради. Бу ҳолда оқиш қатлами бўлади, суюқлик қатламлари бир-бирга сирпанади. Суюқликнинг бундай ҳаракати **ламинар оқим** деб аталади (9.3-расм, а). Агар сувнинг оқиш тезлигини ортириб 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 қиласылар, үзгәрүчан күндаланг кесимли найда суюқлик ишқаланишсиз оқаёттан бўлсин. Фикран сиқилмайдиган суюқликнинг стационар оқимидағи найдининг А ва В кесимлари орасидаги қисмни ажратамиз. Бу кесимларда босим ва оқим тезликлари мос равишда  $P_1$ ,  $V_1$  ва  $P_2$ ,  $V_2$  бўлсин.  $S_1$  ва  $S_2$  күндаланг кесим юзалари бўлса, бу кесимларнинг горизонтта нисбатан баландликлари  $h_1$  ва  $h_2$  га тенг бўлади (9.4-расм).



9.4-расм.

Энергиянинг сақланиш қонунига асосан, оқим найдининг ажратилган қисмидан оқиб ўтаётган суюқлик энергиясининг үзгариши ташқи куч таъсирида бажарилган ишга тенг бўлади. Офирилик кучи ва найдининг ажратилган қисмига таъсир этувчи босим кучлари ташқи куч ҳисобланади. У ҳолда АВ қисмига таъсир қиласылган

$$F_1 = P_1 S_1 \text{ ва } F_2 = P_2 S_2 \quad (1)$$

босим кучлари иш бажаради, чунки оқим найдининг ён деворларига таъсир этабетган босим кучи суюқлик зарралари ҳаракатига тик бўлганлиги сабабли иш бажармайди.  $\Delta t$  вақт ичидаги  $S_1$  кесимдан маълум миқдордаги суюқлик  $I_1$  масофага кучади, яъни

$$I_1 = AA' = V_1 \Delta t \quad (2)$$

Худди шунингдек,  $S_2$  кесимда эса шундай миқдордаги суюқлик  $I_2$  масофага кучади, яъни

$$l_2 = BB' = V_2 \Delta t \quad (3)$$

$l_1$  ва  $l_2$  масофалар ҳамда  $\Delta t$  вақт оралиғи кичик бүлгандылығи сабабли  $AA'$  ва  $BB'$  кесимлар орасидаги қисмларни цилиндр шаклида деб

$\Delta V_1 = S_1 V_1 \Delta t$  ва  $\Delta V_2 = S_2 V_2 \Delta t$  (4)  
ёки узунлуксиз тенгламасига асосалниб  $\Delta V_1 = \Delta V_2$  ни ёзиш мүмкін. Стационар оқышда  $A'$  ва  $B$  кесимлар орасида суюқлик миқдори энергияси ўзгармайды, демек,  $\Delta t$  вақт оралиғида оғирлик күчи ҳисобига  $S_1$  кесимдан

$$W_1 = \frac{mV_1^2}{2} + mgh_1 = \left( \frac{\rho V_1^2}{2} + \rho gh_1 \right) \Delta V \quad (5)$$

миқдорда энергия узатилади.

$S_2$  кесимда эса

$$W_2 = \frac{mV_2^2}{2} + mgh_2 = \left( \frac{\rho V_2^2}{2} + \rho gh_2 \right) \Delta V \quad (6)$$

миқдорда энергия узатилади. Үмумий энергиянинг ўзариши

$$W = W_2 - W_1 = \left( \frac{\rho V_2^2}{2} + \rho gh_2 \right) \Delta V_2 - \left( \frac{\rho V_1^2}{2} + \rho gh_1 \right) \Delta V_1 \quad (7)$$

Бу энергиянинг ўзариши оғирлик күчининг бажарган иши орқали потенциал энергиянинг ўзаришини 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 күчи оқим бўйлаб қўналгани учун мусбат иш бажаради.  $B$  кесимдаги  $F_2 = P_2 S_2$  күчининг иши манфий бўлади.

$A = F_1 l_1 - F_2 l_2 = P_1 S_1 l_1 - P_2 S_2 l_2 = P_1 \Delta_1 V_1 - P_2 \Delta_1 V_2$  (9)  
формулани ҳисобга олиб (9) ифодани (8) га қўйсак

$$\frac{\rho V_2^2}{2} + \rho gh_2 + P_1 = \frac{\rho V_1^2}{2} + \rho gh_1 + P_2 \quad (10)$$

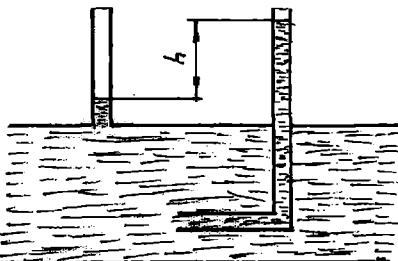
ифодани ҳосил қиласиз. Ихтиёрий кесим учун (10) ни

$$\frac{\rho V^2}{2} + \rho gh + P = \text{const} \quad (11)$$

күренишда ёзиш мумкин. Бу тенглама 1738 иили Д.Бернулли томонидан аниқланганлыги учун **Бернулли тенгламасы** деб аталади. Тенгламада: 1)  $P$  — ҳаракатланувчи суюқлик ичидеги статик босим. Суюқликнинг оқиши тезлиги  $V=0$  ва  $h=0$  бўлган ҳолда  $P=P_0$  бўлиб  $P_0=\text{const}$  бўлади. Бернулли тенгламасига асосан оқаётган суюқликдаги статик босим оқим тезлигининг ортиши ва суюқлик найнинг кўтарилиши туфайли камайишини билдиради.

$$2) m = \frac{T^2 k}{2\pi^2} = \frac{\frac{t^2 k}{h^2}}{\frac{2\pi^2}{2\pi^2 h^2}} = \frac{t^2 k}{2\pi^2 h^2} \quad \text{— динамик босим бўлиб,}$$

ҳаракатдаги суюқликнинг статик босимини қанча миқдорга камайишини билдиради ва уни ўлчаш учун кесими оқиши чизиқларига тик бўлган найдан фойдаланилади ва **Пти найи** дейилади (9.5-расм).



9.5-расм.

3)  $\rho gh$  — гидростатик босим бўлиб, суюқлик найи горизонтал бўлган ҳолда  $h_2 = h_1$  найдинг торайган жойларида оқим тезлиги ортиб, босим камаяди ва аксинча найнинг кенг қисмидаги босим ортиб, оқим тезлиги камаяди. Бу ҳолда кесимларда статик ва динамик босимлар йигинидиси ўзгармайди.

## 48 - §. СУЮҚЛИК ВА ГАЗЛАРДА ЖИСМ ҲАРАКАТИ

Фараз қиласайлик, идеал суюқлик шарсизон жисмни айланиб оқаётган бўлсин (9.6-расм).

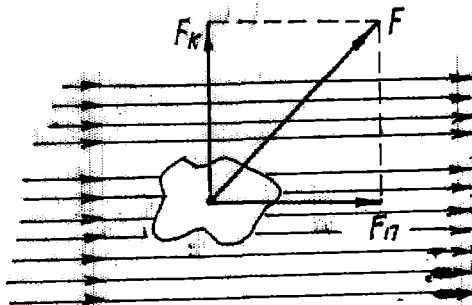
Ишқаланиш бўлмагани сабабли суюқлик шар сирти бўйлаб сирпанади. Оқим чизиқлари оқим йўналишида ва

күндаланг йўналишда симметрик жойлашади, демак, босим ҳам симметрик тақсиланади. Бу ҳолда шар сиртига таъсир этаётган босим кучларининг тенг таъсир этувчиси нолга тенг бўлади.

Демак, Эйлер гоясига асосан қаршилик кучи жисмга таъсир қўлмайди.

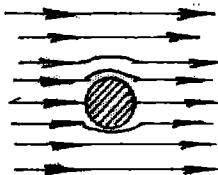
Реал суюқликларда оқим шар сиртини

сирпаниб 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 қўладиган  $F$  куч ҳаракат йўналишига бир бурчак остида йўналган бўлади. Бу кучни пешона қаршилигини юзага келтирувчи  $F_{\parallel}$  ва  $F_{\perp}$  кўтариш кучига ажратилади (9.7-расм).

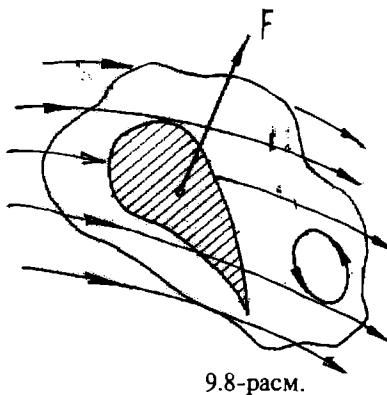


9.7-расм.

Самолётнинг юқорига кўтарилиши унинг қанотига таъсир қўладиган кўтариш кучига асосланган. Бу назарияни Н.Е.Жуковский яратган. У самолёт қаноти ёнидаги ҳаво оқими иккита: силлиқ сирпанувчи оқим ва вужудга келадиган уюрмали оқимлардир. Уюрмали оқим рўпарадан келаётган оқим билан қўшилиши натижасида самолёт қаноти устидаги иккала оқим бир йўналишда бўлиб, оқим тезлигини ортиради, қанот остида оқимлар йўналиши қарама-қарши бўлганлиги учун оқим тезлиги камаяди, демак, қанот остидаги босим қанот устидаги босимдан ортиқ бўлади. Натижада самолёт қанотини кўтарувчи куч ҳосил бўлади (9.8-расм).



9.6-расм.



Самолёт горизонтал йўналишда текис учайтган пайтда двигателнинг тортиш кучи пешона қаршилиги кучи, кўтариш кучи, оғирлик кучини мувозанатлайди.

Айланадиган цилиндр шаклидаги жисм суюқлик ёки газда ҳаракат қилганда, бу ҳаракатга тик йўналишда кўтариш кучи ҳосил бўлади ва жисмни ўз ҳаракат йўналишидан оғидиради, бу самарага **Магнус самараси** деб аталади.

## 49-§. МАСАЛА ЕЧИШ НАМУНАЛАРИ

*1-масала.* Асосининг радиуси 0,1 м бўлган цилиндрик идишдаги суюқликнинг баландлиги 0,5 м бўлса, суюқлик 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:

$$F_{\text{туб}} / F_{\text{ен}} - ?$$

Ечиш. Агар суюқлик зичлиги  $\rho$  маълум бўлса, суюқлик идиш тубига берадиган босими  $P_{\text{туб}} = \rho gh$  идишнинг ён деворларига босими эса  $g gh$  дан 0 гача ўзгаради, демак, ўртача босим

$$P_{\text{ен}} = \frac{0 + \rho gh}{2} = \frac{\rho gh}{2}$$

бўлади. Цилиндр идиш тубининг юзи  $S_{\text{юза}} = \pi R^2$  га, ён деворларининг юзи эса  $S_{\text{ен}} = 2 \pi Rh$  га teng. У ҳолда суюқлик томонидан идиш тубига таъсир этувчи босим кучи:

$F_{\text{туб}} S_{\text{туб}} = \rho g h \pi R^2$ , ён деворга таъсир этувчи босим кучи эса

$$F_{EH} = P_{EH} = \frac{\rho g h}{2} \times 2\pi R h = \rho g h^2 \pi R$$

$$\frac{F_{Tyb}}{F_{EH}} = \frac{\rho g h \pi R^2}{\rho g h^2 \pi R} = \frac{R}{h},$$

ифодалар ёрдамида аниқланади.

$$\frac{F_{Tyb}}{F_{EH}} = \frac{0,1_M}{0,5_M} = 0,2$$

**Жавоб.**  $\frac{F_{Tyb}}{F_{EH}} = 0,2$  Идиш тубига берилган босим кучи

ён деворга берилган босим кучидан 0,2 марта ортиқ экан.

**2-масала.** Тожнинг ҳаводаги массаси 14,7 кг, сувдаги массаси 13,4 кг бўлса, тож соф олтиндан тайёрланганми?

Берилган:  
 $m_x = 14,7$  кг;  
 $m_c = 13,4$  кг;  
 Топиш керак:  
 $\rho_x / \rho_c - ?$

Ечиш. Жисмнинг (тожнинг) сувдан чиқиб турган қисмининг вазни  $G$  жисмнинг сувга ботиб турган қисмидаги вазни  $G'$  дан Архимеднинг кўтарувчи кучини айрилганига тенг, яъни

$$G = G' - F_A = \rho_* g V - \rho_c g V$$

Демак,  $\frac{G}{G - G'} = \frac{\rho_* g V}{\rho_c g V} = \frac{\rho_*}{\rho_c}$  муносабатни ёзиш мумкин.

$$\frac{\rho_*}{\rho_c} = \frac{G}{G - G'} = \frac{14,7_{\text{кг}}}{14,7_{\text{кг}} - 13,4_{\text{кг}}} = \frac{14,7_{\text{кг}}}{1,3_{\text{кг}}} = 11,3$$

қўрғошиннинг зичлиги  $11300$  кг/м<sup>3</sup> га тенг, демак, тож қўрғошидан тайёрланган.

**Жавоб.** 11,3 (қўрғошин).

*3-масала.* Цилиндр шаклидаги идиш асосининг юзи  $10^{-2} \text{ м}^2$  бўлиб, зичлиги  $1,2 \times 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$  кўлган суюқлик қўйилган. Бу суюқлик ичида  $0,3 \text{ кг}$  массали муз сузиги юрибди деб,

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:

$$S = 10^{-2} \text{ м}^2$$

$$\rho = 1,2 \times 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$$

$$m_m = 0,3 \text{ кг}$$

Топиш керак:

$$P_?$$

Ечиш. Музнинг сузиш шарти  $F_A = m_m g$  га тенг бўлади. Архимеднинг итарувчи кучи эса  $F_A = \rho g V'$   $V'$  — музнинг суюқлик ичидағи қисмининг ҳажми.

Агар муз суюқлик ичида бўлмаса, суюқлик сатҳининг баландлиги  $h$  бўлиб,

$V' = S(h - h_1)$  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

$$\Delta P_1 = P_2 - P_1 = \rho g(h - h_1) = \frac{\rho g V'}{S} = \frac{F_A}{S} = \frac{m_m g}{S} = \frac{0,3 \text{ кг} \times 9,8 \text{ м}/\text{с}^2}{10^{-2} \text{ м}^2} = 294 \text{ П}$$

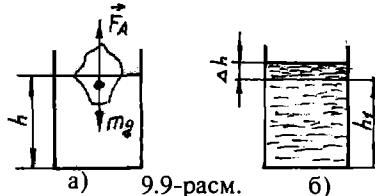
Муз эригандан сўнг сув сатҳининг баландлиги  $h_1$  га ўзгарида ва  $\Delta h$  қатламни ҳосил қиласади. У ҳолда идиш тубига таъсир этувчи босим  $P' = P_{\text{атм}} + \rho g h_1 + \rho_0 g \Delta h$  бўлади.

$$\rho_0 = \frac{m_M}{V_0} = \frac{m_M}{S \Delta h} \quad \text{дан} \quad \rho_0 \Delta h = \frac{m_M}{S}$$

Шунинг учун  $P' = P_{\text{атм}} + \rho g h_1 + \frac{m_M g}{S}$  ни ёзиш мумкин.

Босимлар фарқи эса

$$\begin{aligned} \Delta P_2 &= P' - P_2 = P_{\text{атм}} + \rho g h_1 + \frac{m_M g}{S} - P_{\text{атм}} - \rho g h_1 = \\ &= P_1 + \frac{m_M g}{S} - P_2 = \frac{m_M g}{S} (P_2 - P_1) = 0 \end{aligned}$$



9.9-расм.

б)

Муз эриб сувнинг сатҳи камайса ҳам, идиш тубига таъсир этадиган босим ўзгармас экан.

**Жавоб.**  $\Delta P_1 = \Delta P_2 = 294$  Па.

**4-масала.** Ҳаво шарининг умумий ҳажми  $600 \text{ м}^3$  бўлиб, у мувозанат ҳолатида турибди. Ҳаво шари  $\alpha = 0,1 \text{ м} / \text{с}^2$  тезланиш билан юқорига кўтарилиши учун қандай масса ташлаб юборилиши керак?

Берилган: $\alpha = 0,1 \text{ м} / \text{с}^2$ $V = 600 \text{ м}^3$ Топиш керак: $\Delta m - ?$	Ечиш. Мувозанатлик шартига кура $\rho_1 g V - mg = 0$ бўлиши керак. Масса эса $m = \rho_1 V$ бўлади.
---	--

$m$  — умумий масса. Маълум миқдорда юк ташлаб юборилгандан сўнг  $\rho_1 g V - (m - \Delta m) g = (m - \Delta m)$  а шарт бажарилади.

$$\Delta mg = (m - \Delta m) a \text{ ва } \Delta m (y + a) = ma \text{ тенглиқдан}$$

$$\Delta m = \frac{\rho_1 V a}{g + a} = \frac{1,29 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \times 600 \text{ м}^3 \times 0,1 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}}{9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} + 0,1 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = 7,81 \text{ кг}$$

**Жавоб.**  $\Delta m = 7,81$  кг.

**5-масала.** Шприц поршенининг юзи  $S = 2 \times 10^{-2} \text{ м}^2$  шприц тешикчасининг юзи  $S_2 = 1 \times 10^{-6} \text{ м}^2$  бўлиб, шприц поршенига таъсир этувчи куч  $F = 8$  Н бўлганда, суюқлик  $l = 0,05$  м масофани қанча вақтда босиб ўтади.

Берилган: суюқлик $S_1 = 2 \times 10^{-4} \text{ м}^2$ ; $S_2 = 1 \times 10^{-6} \text{ м}^2$ ; $F = 8 \text{ Н}$ $l = 0,05 \text{ м}$	Ечиш. Шприцдан оқиб чиққан ҳажми узлуксизлик тенгламиисига асосан $S_1 V_1 t = S_2 V_2 t$ , бу ерда, $V_2$ — шприцдан оқиб чиққан сувнинг тезлиги.
---	--

Топиш керак:  
 $t - ?$

Бернулли тенгламасини қўлласак

$$P_1 + \rho g h_1 + \frac{\rho V_1^2}{2} = P_2 + \rho g h_2 + \frac{\rho V_2^2}{2}$$

Шприц горизонтал ҳолатда бўлганда  $h_1 = h_2$  бўлади.

У ҳолда  $P_1 = \frac{F}{S_1} + P_{AT}$ ;  $P_2 = P_{ATM}$  муносабатдан Бернулли

тенгламасини қўйидагича ёзамиш:

$$\frac{F}{S_1} + \frac{\rho V_1^2}{2} = \frac{\rho V_2^2}{2}$$

$S_1 V_1 = S_2 V_2$  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  $\frac{S}{S_1}$  нис-

батни ҳисобга олмаса ҳам бўлади. У ҳолда

$$t = \frac{S_1 l}{S_2} \sqrt{\frac{\rho S_1}{2F}} = \frac{2 \times 10^{-4} \frac{m}{s^2} \times 5 \times 10^{-2} \frac{m}{s}}{1 \times 10^{-6} \frac{N}{m^2}} \sqrt{\frac{1 \times 10^3 \frac{kg}{m^3} \times 2 \times 10^{-4} \frac{m^2}{s^2}}{2 \times 8H}} = 1,12c$$

Жавоб.  $t = 1,12$  с.

6-масала.  $h = 100$  м чуқурлиқда сув ости кемаси турган бўлиб, унинг қобиги тешилган. Тешикнинг диаметри  $a = 2$  см бўлса, сув қандай тезлик билан кема ичига киради? 1 соат ичидаги қанча миқдорда сув кемага киради? Кема ичидаги босим атмосфера босимиға 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 тенгламасини ёзамиз.

$$\rho gh + P_{ATM} = P_{ATM} + \frac{\rho V^2}{2}; \rho gh = \frac{\rho V^2}{2} \text{ дан}$$

$2gh = V^2; V = \sqrt{2gh}$  Торицелли тенгламаси 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 ичидагы кирган сув ұажми

$$V' = VS = V \frac{\pi d^2}{4}$$

$$1 \text{ соат ичидегиси } V = V' \times 3600\text{с} = \frac{U \pi d^2}{4} \times 3600\text{с}$$

$$V = \frac{44,3 \frac{\text{м}}{\text{с}} \times 3,14 \times (2 \times 10^{-2})^2 \text{ м}^2}{4} \times 3600\text{с} = 50 \text{ м}^3$$

Жауоб.  $V = 44,3 \text{ м /с}; V = 50 \text{ м}^3$ .

### СТАТИКА АСОСЛАРИ

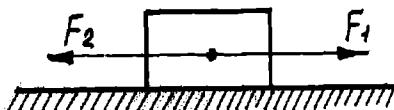
#### 50-§. КУЧЛАРНИ ҚҰШИШ ВА ТАШКИЛ ЭТУВЧИЛАРГА АЖРАТИШ. ТЕНГ ТАЪСИР ЭТУВЧИ КУЧ

Физикада кучлар таъсирида жисмларнинг мувозанатда булиши 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 бирлиқдаги миқдори; 3) жисмга таъсир қилиш нуқтасидан иборатdir.

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 учishi мумкин. Жисмга бир неча куч таъсир қилганда жисм тўғри чизиқли текис ҳаракат қилса ёки нисбатан тинч турса, бундай кучларга мувозанатлашган кучлар дейилади. Хусусий ҳолда бир нуқтага таъсир қилган миқдордан тенг ва қарама-қарши йўналишда бўлган икки куч ҳам мувозанатлашган 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 қонунiga 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 сингари тенг куч таъсир этувчи дейилади. Тенг таъсир этувчи куч билан алмаштириладиган кучларни унинг ташкил этувчилари дейилади. Тенг таъсир этувчи кучни тошишга, кучларни қўшиш дейилади. Фараз қилайлик, блокдан ип ўтказилиб, унинг икки учига

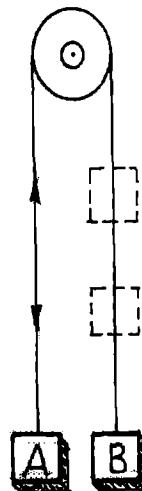


10.1-расм.

бир-бирига тенг А ва В юк осилган бўлсин (10.2-расм). Агар В юкни ипнинг ҳар хил нуқталарига кўчирилса, кучнинг таъсир қиладиган нуқтаси ўзгаради, аммо кузатишлар натижасида В юкни ипнинг қайси жойига кўчирилса ҳам кучларнинг мувозанати ўзгармаслигига ишонч ҳосил қилинади. Айтайлик, икки электр поезди йўлнинг тўғри чизиқли қисмida оғир юк вагонлар жамламасини ҳаракатга келтирсин, биринчи электр поезднинг тортишиш кучи  $F_1$ , иккинчисиники  $F_2$  бўлсин.

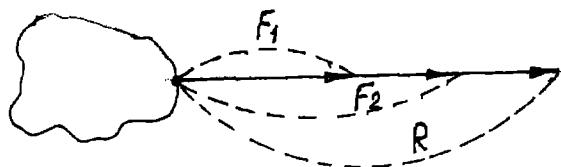
Электр поездлари бир томонга ҳараткат қилгани ва тортиш кучлари бир тўғри чизиқ бўйича йўналгани учун тенг таъсир этувчи R куч ташкил этувчиларнинг йифиндисига тенг, яъни  $R = F_1 + F_2$ .

Демак, жисмга тўғри чизиқ бўйлаб бир йўналишда таъсир қилувчи икки кучнинг тенг таъсир этувчиси бу кучларнинг йифиндисига тенг ва ўша тўғри чизиқ бўйлаб ўша йўналишда таъсир қилади (10.3-расм).



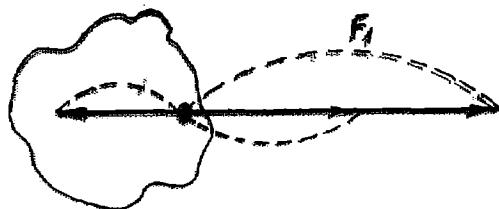
10.2-расм.

*Кучнинг қўшилиши  
нуқтасини кўчириши.*



10.3-расм.

Электр поездининг тортиш кучи  $F$ , поезднинг ҳаракати-га қаршилик кучи  $-F_2$  бўлса, тенг таъсир этувчи  $R$  куч таш-кил этувчиларнинг алгебраик йигиндисига тенг бўлади (10.4-расм), яъни  $R = F_1 + (-F_2)$  ёки  $R = F_1 - F_2$ .

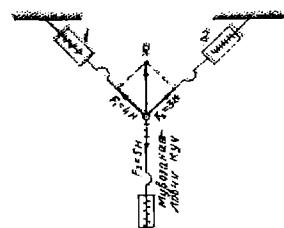


10.4-расм.

Демак, жисмга бир тўғри чизиқ бўйлаб қарама-қарши томонга таъсир қилувчи икки кучнинг тенг таъсир этувчиси бу кучларнинг айрмасига тенг бўлиб, ўша тўғри чизиқ бўйлаб, катта кучнинг йўналишида таъсир қиласди.

Кўпинча жисмга кучлар бурчак остида таъсир қиласди, бундай кучларнинг таъсир этувчисини топиш учун уча динамометр олиб, уларнинг илмоқларига иплар боғланади, ипларнинг иккинчи учлари эса тугун қилиб боғланади (10.5-расм). Динамометр-дан иккитаси катта тахтачага маҳкам-ланади, учинчи динамометрни та-ранглаб боғлаймиз.

Бу ҳолда тугунча кўйилган учала куч мувозанатлашади. Ипларнинг вазияти ва динамометрларнинг кўрсатишдан бу кучларнинг йўналиши ва катталиклари аниқланади.



10.5-расм.

Агар 1 ва 2 илга таъсир қилувчи кучларни ташкил этувчи кучлар деб ҳисобланса, у ҳолда 3 илга таъсир қилувчи куч **тeng таъсир этувчи куч** бўлади. Тенг таъсир этувчи кучни аниқлаш учун кучлар график равишда тасвирланади. Бунинг учун тахтага (иqlarning остига) бир варақ қозоғ қўйиб, тугун ва иqlarning вазияти белгиланади. Йиҳиёрий масштаб танлаб олиб, таъсир қилувчи кучлар ва уларнинг teng 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 teng таъсир этувчи кучга teng 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 teng таъсир этувчи куч сифатида олинади.

Параллелограмм қоидасига асоссан:

жисмнинг бир нуқтасига бир-бирига бурчак остида таъсир қилувчи икки кучнинг teng 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 қўшиш** дейилади. Геометрик йигинди  $R = F_1 + F_2$  параллелограммнинг вектор диагонали бўлади. Кучлар бурчак остида таъсир қилганда геометрик йигинди алгебраик йигинидан кичик бўлади.

Тенг таъсир этувчи кучнинг модули қўйидаги формуладан аниқланади:

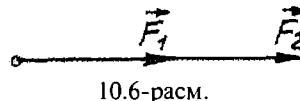
$$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos\alpha}$$

Бунда икки ҳол бўлади: 1) Агар икки куч бир нуқтага қўйилган бўлиб, тўғри чизиқ бўйича таъсирашганда 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 чизиқ бўйича бир нуқтага қўйилган икки куч йўналиши қарама-қарши бўлганда (10.7-расм) бурчак  $\alpha = \pi$  teng бўлади ва teng таъсир этувчи куч



10.6-расм.

$$R = \sqrt{(F_1 - F_2)^2} = F_1 - F_2$$

формула бўйича аниқланади.

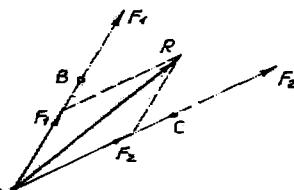
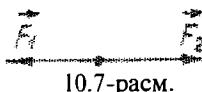
Расмда жисмнинг икки нуқтасига кўйилган ва бурчак ҳосил қилиб, йўналган кучлар кўрсатилган. В ва С нуқталарни кучларнинг таъсир чизиклари кесишидаган А нуқтага кўчириб, сўнгра параллелограмм қоидасига биноан геометрик кўшилади ва ташкил этувчи кучларга кўра параллелограмм диагонали сифатида R тенг таъсир этувчи куч топилади.

Техник масалаларни ечишда кўпинча бир кучни уни ташкил қиласидаган икки куч билан алмаштиришга тўғри келади. Берилган А кучга қараб унинг ташкил этувчилирини топиш кучларни ажратиш дейилади. Кучни унинг бурчак ҳосил қилиб, йўналган икки ташкил этувчисига ажратишида куйидагиларни билиш керак:

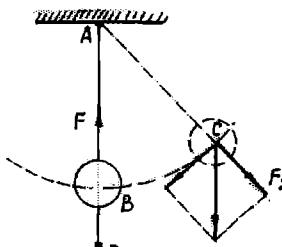
1. Иккала таъсир этувчи кучларнинг йўналишини.
2. Таъсир этувчи кучлардан бирининг модулини.
3. Иккала таъсир этувчи кучнинг модулини.

Кучларни ажратилишига мисоллар кўрайлилек.

1. Тебрангични ҳаракатлантирувчи кучни топайлик, АО мувозанат вазиятида турган тебрангичга фақат оғирлик кучи таъсир қиласиди ва унинг таъсири таянчнинг қаршилик кучи F билан мувозанатлашади (10.8-расм). Тебрангич мувозанат вазиятидан чиқарилганда тебрангич оғирлиги ва таянчнинг қаршилиги мувозанатлашмайди ва тебрангич ҳаракат қиласиди. Р оғирликни АС ип бўйлаб ва унга перпендикуляр йўналган кучларнинг тенг таъсир этувчиси десак, ип бўйлаб ҳаракатланиш амалга ошмайди, чунки ип чўзилмайди. Тебрангични ҳаракатга келтирувчи СВ тўғри чизик бўйлаб ва АСга перпендикуляр йўналади. (СВ АС).



10.8-расм.



10.9-расм.

10.9-расмдан күриниб турибиди, параллелограммнинг диагонали  $P$  ва  $F_1$  ҳаракатлантирувчи куч ва  $F_2$ нинг тараңглик 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).

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 думайди). Параллелограмм қоидасига асосан  $P$  жисм оғирлиги параллелограммнинг диагоналидир (10.10-расмга қаранг). Ҳаракатни мувозанатга келтирувчи  $F$  куч ҳаракатлантирувчи кучга teng ва қарама-қарши йўналганилигидан  $F=F_1$  ва

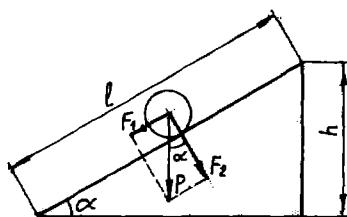
$$F_1 = P \sin \alpha = P \frac{h}{l} \text{ ни ҳисобга олсак, мувозанатловчи кучни}$$

$$F = P \frac{h}{l} \text{ формула ёрдамида топиш мумкин.}$$

Шунга ўхшашиб мисоллар сифатида самолёт қанотининг кўтариши кучи ва пешона қаршилигини, металларни қирқишига қаршилик кучи ва тифнинг 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  $F_2$



10.10-расм.

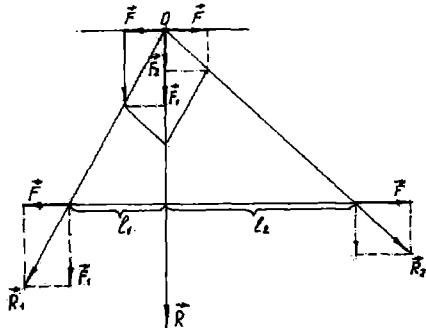
кучлар қўйилган бўлсин (10.11-расм) А ва В нуқталарга таъсир этувчи кучларнинг teng таъсир этувчисини аниқлаш учун модули жиҳатдан teng, аммо йўналиши қарама-қарши бўлган F мувозанатловчи куч аниқланади. А нуқтага тўғри бурчак остида  $F_1$  ва F куч А нуқтага эса мос равишда  $F_2$  ва F куч

таъсир қиласди. Расмдан бу кучларнинг teng таъсир этувчиси  $R_1 = F_1 + F$  ва  $R_2 = F_2 + F$  бўлади. Кўриниб турибдики, teng таъсир этувчилар ўзаро параллел эмас. Маълум қаттиқ жисмларда кучларнинг қўшилиш нуқталарини таъсир чизиги 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 қоидасига биноан таъсир этувчи R куч топилади. Бу ҳолда  $R_1$  кучнинг ташкил этувчилари  $F_1$  ва F,  $R_2$  иккни мос равишда  $F_2$  ва F бўлади, икки ҳол учун F куч модули teng ва қарама-қарши йўналганлиги сабабли ўзаро мувозанатлашади.  $F_1$  ва  $F_2$  кучлар бир тўғри чизиқ бўйича бир томонга йўналганлиги учун, уларнинг teng таъсир этувчиси  $R=0$  га teng бўлади, яъни  $R= F_1+F_2$ . Энди teng таъсир этувчи кучни О нуқтадан таъсир чизиги бўйича O<sub>1</sub> нуқтага кўчирилган ҳолни кўриб чиқамиз.  $F_1$  ва  $F_2$  куч билан teng таъсир этувчи R кучнинг қўшилиш нуқталари орасидаги масофалар мос равишда  $l_1 = /AO_1/$  ва  $l_2 = /OB/R$  teng бўлади. Расмдан DOR<sub>1</sub>F<sub>1</sub>~DAOO<sub>1</sub> чунки бу учбуручаклар ўхшаш учбуручаклардир. Шунинг учун

$$\frac{|OF_1|}{|R_1F_1|} = \frac{|OO_1|}{|AO_1|} \text{ деб ёзиш мумкин.}$$

$$|AO_1| = l, |R_1F_1| = F, |OF_1| = F \text{ тенглигидан } \frac{F_1}{F} = \frac{|OO_1|}{l}$$

шарт қониқарли бўлади. Демак,  $F_1 l_1 = F / OO_1$ . Иккинчи то-



10.11-расм.

мондан  $\Delta OF_2$ ,  $R_2 \sim \Delta OBO_1$  учбуручакларнинг ўхшашлигидан

$$\frac{|OF_2|}{|F_2R_2|} = \frac{|OO_1|}{|O_1B|}$$
 бўлади.

$/OF_2/ = F_2$ ;  $/F_2 R_2/ = F$  ва  $/O_1 B/ = l_2$  тенгликлардан

$$\frac{F_2}{F} = \frac{|OO_1|}{l_2}$$
 қониқарли бўлади. Демак,  $F_2 l_2 = F / OO_1$ . 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 йифиндисига тенг ва улар билан бир томонга йўналган бўлиб, қўйилиш нуқтаси шу кучлар қўйилган ҳуқталар орасидаги масофани кучларга тескари пропорционал кесмаларга бўлади.

## 52-§. ОФИРЛИК МАРКАЗИ

Жисмга таъсир этувчи кучнинг қўйилиш нуқтасини аниқлаш учун параллел кучларни қўшиш 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.

Параеллел кучлар тизимнинг тенг таъсир этувчини 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 моддадан ясалган ва узунлиги бўйича кўндаланг кесими бир хил бўлган таёқчага **бир жинсли таёқча** дейилади.

Бу таёқчани бир неча тенг бўлакчаларга бўлиб, бу бўлакчалар таёқчанинг ўртасига нисбатан симметрик жойлашган бўлсин (10.12-расм).

Бўлакчалар сони О нуқтанинг иккала томонидан бир хил тажрибада О нуқталар иккала томонга бир

хил масофада турган бўлакчаларга бир хилда куч (юк осиб) оғирлик маркази аниқланади. Текширишлар натижасига кўра бир жинсли таёқчанинг оғирлик маркази унинг ўртасида бўлишига ишонч ҳосил қилинади.

2. Бир жинсли учбурчак пластинканинг оғирлик марказини аниқлаш.

Агар А В С учбурчак пластинка берилган бўлса, учбурчакнинг томонларидан бири, масалан, кесмалар, яъни ингичка йўллар ажратамиз (10.13-расм).

Ҳар бир ингичка йўлларни бир жинсли таёқча деб қарашиб мумкин. Барча таёқчаларнинг умумий оғирлик маркази, уларнинг ўрталарини бирлаштирувчи чизиқда яна СК медианада бўлади. Шундай усул билан учбурчак пластинканинг маркази медианада бўлишини аниқлаймиз.

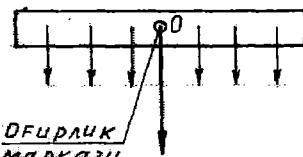
Пластинканинг оғирлик маркази бир вақтда иккала медианада бўлиши, учбурчакнинг оғирлик маркази учбурчак медианалири нуқтасида (D) нуқтада бўлишини исбот қиласи.

Шундай қилиб, бир жинсли ва симметрия марказга эга бўлган жисмларнинг (масалан, шар, сфера, доира ва шу кабиларнинг) оғирлик марказлари геометрик марказлари билан мос тушади.

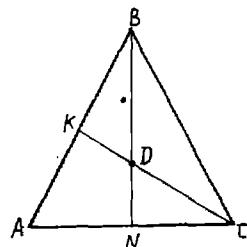
Бир жинсли учбурчак пластинканинг оғирлик маркази учбурчак медианалари кесишган нуқтада бўлади.

Бир жинсли тўртбурчак, паралелограмм шакидаги пластинкаларнинг оғирлик марказлари диоганалларининг кесишган нуқтасида ётади.

Жисмларнинг шаклига қараб оғирлик марказлари жисмдан ташқарида жойлашиши ҳам мумкин. Масалан, ҳалқа, гардина, фовак, цилиндр ва шунга ўхшаш жисмларнинг оғир-



10.12-расм.



10.13-расм.

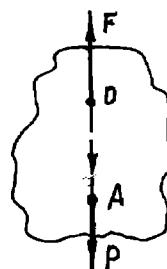
лик марказлари геометрик марказлари билан мос тушади. Жисм оғирлик марказининг ҳолати жисм ҳаракатланганда ёки бурилганда жисмга нисбатан ўзгармайди. Аммо жисмлар шакли ўзгарса ёки жисм маълум бир қисм бошқа моддадан ясалса, марказнинг ҳолати ўзгаради.

### 53-§. ТАЯНЧ НУҚТАГА ЁКИ ТАЯНЧ ЧИЗИҚДА ЭГА БЎЛГАН ЖИСМЛАРНИНГ МУВОЗАНАТИ

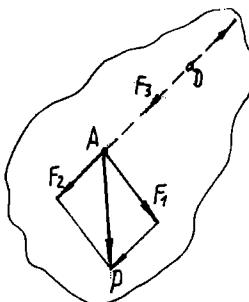
Таянч нуқтага эга бўлган жисмларнинг шарти техникада жуда кўп кўлланилади. Расмда битта таянч нуқтага эга бўлган жисм тасвириланган. Жисмнинг оғирлик кучи унинг оғирлик марказига қўйилган О таянч нуқтага оғирлик кучи билан шу кўп йўналишда унга тенг бўлган  $F_1$ , куч ҳам таъсир этади.  $F_1$  кучи таянч деформациялангани учун  $P$  оғирлик кучига тенг ва унга қарама-қарши йўналган  $F$  таъсир эта бошлайди. Ўзаро мувозанатлашган  $P$  ва  $F$  кучларнинг тенг этувчиси О тенг бўлганлиги сабабли жисм мувозанат ҳолатда бўлади. О ва А нуқталар битта тик чизиқда ётгандагина жисм мувозанат ҳолатида бўлади. Бошқа ҳолатларда жисм битта таянч нуқтага эга бўлса ҳам мувозанат ҳолатда бўмайди. Кейинги расмда О таянч нуқтаси ва А оғирлик марказлари турли тик чизиқда жойлашган жисм тасвириланган.

Жисм  $P$  оғирлигининг ўзаро перпендикуляр бўлган иккита ташкил этувчиларга ажратамиз, улардан биттаси  $F_2$  кучи ОА тўғри чизиқ бўйича йўналганлиги сабабли таянчга таъсир этувчи кучни ҳосил қиласди (10.15-расм).

Таянч ўз навбатида  $F_2$  кучга тенг бўлган  $F_1$ , 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  $F$ , бўлади ва у нолга тенг бўмайди, шунинг



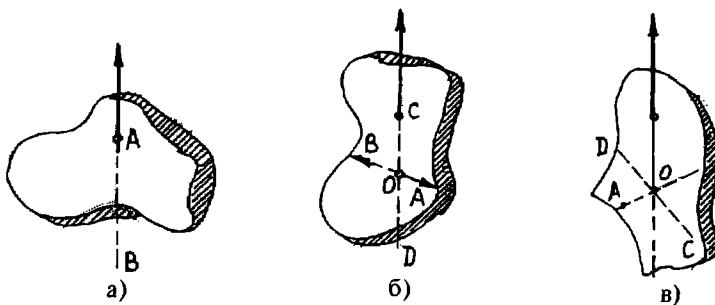
10.14-расм.



10.15-расм.

учун жисм мувозантда бўймайди. Бу куч таъсирида жисм ҳаралатга 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 нуқтадан осиб мувозанат ҳолатга келтирилади, сўнгра осилиш нуқтасидан ўтувчи тик АВ чизиқ ўтказамиз (10.16-расм).



Бу ҳолда жисмнинг 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 кесишиш 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 АЙЛANIШИ. 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. Қаттиқ жисм илгариланма ва айланма ҳаракат қиласы.

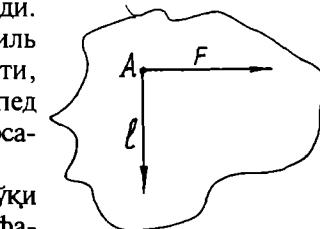
Айланма ҳаракат деб шундай ҳаракатта айтилады, бунда жисмнинг ҳамма нүкталари марказлари бир түгри чизиқда ётган айланмалар бўйлаб ҳаракатланади, бу түгри чизиқ эса **айланиш ўқи** дейилади. Бунда айланыш ўқи ётган нүкталар кўзғалмас бўлади. Бундай ҳаракатга мисол автомобиль филдирагининг айланма ҳаракати, чарх тошининг ҳаракати, велосипед филдиракларининг ҳаракатини кўрсатиш мумкин.

Тажриба ёрдамида айланыш ўқи бўлган жисмга кучнинг таъсири фақат катталигига эмас, шунингдек, кучнинг қўйилиш нүктасидан айланыш ўқигача бўлган ма-софага боғлиқлигини кўрсатиш мумкин. Айланыш ўқидан F кучнинг таъсир чизигигача бўлган энг қисқа I масофа куч елкаси дейилади (10.17-расм).

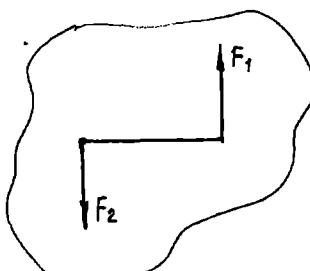
Кучнинг айлантирувчи таъсир кучи катталигига ва куч елкасига боғлиқ бўлади. Куч ва елканинг қиймати қанчалик катта бўлса, кучнинг таъсири ҳам шунча катта бўлади. Демак, кучнинг таъсири қўйилаётган куч ва елкага пропорционал бўлади. Кучнинг таъсирини ўрганиш учун M куч моменти тушунчаси киритилади.

Куч моменти деб кучнинг елкасига кўпайтмасига teng бўлган катталикка айтилади:  $M = F \cdot l$  формулада  $M$  — куч моменти;  $F$  — куч;  $l$  — елка. Агар кучнинг таъсир чизиги айланыш ўқидан ўтса (айланиш марказидан ўтса), кучнинг елкаси нолга teng бўлади. Демак, айланыш ўқидан ўтган түгри чизиқ бўйлаб йўналган кучнинг моменти ҳам 0 га teng бўлади. Халқаро бирликлар системасида куч моменти бирлиги Ньютон метр, қисқача Нм. Кўпинча жисмга иккита бир-бираига teng, қарама-қарши йўналган ва параллел  $F_1$  ва  $F_2$  кучларнинг таъсирини

10.17-расм.



10.18-расм.



исботлашга тұғри келади. Бундай күчлар тизими жуфт күчлар деб аталағы (10.18-расм).

Бундай күчларни бир күч билан алмаштириб бўлмайди, жуфт күчларнинг тенг таъсир этувчиси бўлмайди. Шунинг учун жуфт күчлар жисмни илгариланма ҳаракатга келтира олмайди. Жуфт күчлар таъсирида жисм айланма ҳаракатга келади. Жуфт күчларнинг елкаси деб, күчларнинг таъсир чизиклари орасидаги энг қисқа масофага айтилади. Күчлардан бирининг жуфт күч елкасига қўпайтмаси **жуфт моменти** деб аталағы. Жуфт моментининг катталиги айланыш ўқининг вазиятига боғлиқ бўлмайди.

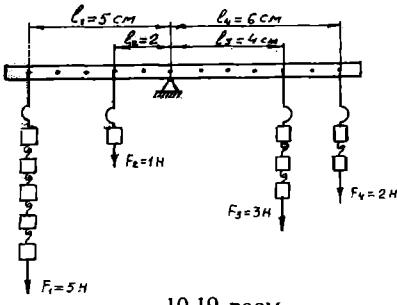
## 55-§. АЙЛANIШ ЎҚИГА ЭГА БЎЛГАН ЖИСМЛАРНИНГ МУВОЗАНАТ ШАРТИ

Горизонтал равишида турган таёқчанинг О айланыш ўқига нисбатан A, B, C, D нүқталарига мос равишида тик

күчлар  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$ ,  $F_4$  қўйилган (10.19-расм).  $F_1$  күч таъсирида ҳосил бўлган  $M_1 = F_1 l_1$  күч моменти таёқчани О айланыш ўқи атрофида соат кўрсаткичи ҳаракатига қарши йўналишида айлантиради. Худди шундай  $F_2$  күчнинг моменти  $M_2 = F_2 l_2$  ҳам айнан шу йўналишида таёқчани айлантириши йўналишида айлантирувчи тўла момент  $M_r = M_1 + M_2$  бўлади. Расм-да соат мили йўналиши бўйича таёқчани айлантирувчи моментлар  $F_3$  ва  $F_4$  күчлар томонидан ҳосил қилинади ва улар мос равишида  $M_3 = F_3 l_3$  ва  $M_4 = F_4 l_4$  ларга тенг бўлади. Соат мили йўналишидаги айланувчи тўла момент эса  $M''_r = M_3 + M_4$  га тенг бўлади. Таёқчанинг мувозанатда бўлиши учун қуйидаги шарт бажарилиши лозим:

$$M'_r = M''_r \text{ ёки } M_1 + M_2 = M_3 + M_4;$$

$$F_1 l_1 + F_2 l_2 = F_3 l_3 + F_4 l_4.$$



10.19-расм.

Демак, айланиш ўқига эга бўлган жисм мувозанатда бўлиши учун жисмни соат мили ҳаракат йўналишида айлантирувчи куч моментларининг йигиндиси соат мили ҳаракатига қарши айлантирувчи куч моментларининг йигиндисига 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 шарти бўлади. Айланиш ўқига эга бўлган жисм мувозанатда бўлиши учун жисмни айлантирувчи барча кучлар моментларининг алгебраик йигиндиси нолга тенг бўлиши керак.

## 56-§. ЖИСМ МУВОЗАНАТИ ТУРЛАРИ

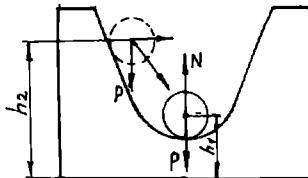
Жисм мувозанати ўз моҳиятига кўра уч турга бўлинади:

1) турғун, 2)турғун бўлмаган ва 3) фарқсиз.

Жисм мувозанати турларини алоҳида-алоҳида кўриб чиқайлик.

1. Фараз қилайлик, г 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 мълум баландликда турганда шарчага р оғирлик кучи билан тагликнинг акс тъсири кучи  $N$  мувозанатлашган ҳолда бўлгани учун шарча мувозанат ҳолатда бўлади. Агар шарчани мувозанат вазиятидан ( $O$ ) бироз четта а 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 моменти таъсирида шарча илгариланма ҳаракат билан шарчанинг оғирлик марказидан



10.20-расм.

ўқ атрофида айланма ҳаракат қилиб думалайди. Жисм мувозанат вазиятда бўлганда қайтарувчи куч  $F=0$  ва куч моменти  $M=0$  бўлади,  $M=F_{xg}=0$ .

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  $W_{p_1} < W_{p_2}$ .

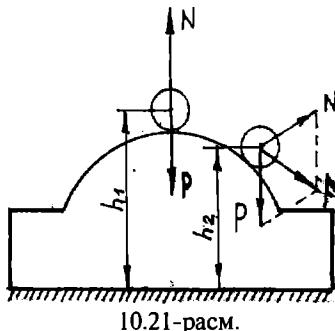
Жисм мувозанат ҳолатдан четта чиқарилганда уни дастлабки вазиятига қайтарувчи куч ёки куч моменти ҳосил бўлалигига мувозанатга **турғун мувозанат** дейилади.

2. Жисмнинг турғун бўлмаган мувозанати 10.21-расмда тасвирланган.

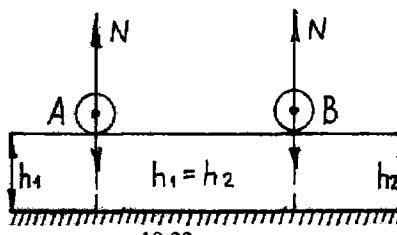
Маълум радиусли шарча силлиқ эгри сирт-қавариқ сиртда мувозанат ҳолатда турган бўлсин. Бу ҳолатда шарчанинг оғирлик маркази ер сиртидан  $h$  баландликда бўлади. Шарчага оғирлик кучи  $P$  билан силлиқ сиртнинг таъсир кучи  $N$  ўзаро тенг ва қарама-қарши томонга йўналган. Шунинг учун шарча мувозанат ҳолатда бўлади. Лекин бу мувозанат

ҳолатда турғун бўлмайди, чунки жуда кичик ташқи куч таъсирида жисм ўзининг мувозанат вазиятидан чиқади. 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  $h_1 > h_2$  га асосан  $W_{p_1} > W_{p_2}$ .

Жисмни мувозанат ҳолатида четта чиқарилганда унинг мувозанат вазиятидан янада кўпроқ узоқлаштирадиган куч



10.21-расм.



10.22-расм.

ёки куч моменти ҳосил бўладиган мувозанатга турғун бўлмаган мувозанат дейилади.

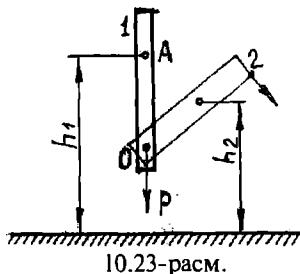
3. Агар шарчанинг (жисм) оғирлик маркази Ер сиртидан  $h_1$  баландликда бўлиб, горизонтал текисликда тинч турган бўлса, унга оғирлик кучи  $P$  билан жисм турган тагликнинг акс таъсири  $N$  ўзаро мувозанатлашган бўлади (10.22-расм).

Шарча А вазиятдан В вазиятга кўчирилганда 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  $h_1 = h_2 = \bar{h} = \text{const}$  га асосан  $W_p = \text{const}$  бўлади.

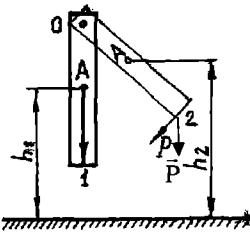
Мувозанат ҳолатдаги жисмни жойидан қўзғатилганда, унинг ҳолатини ўзгартирадиган куч ёки куч моменти ҳосил бўлмайдиган мувозанатга **фарқсиз мувозанат** дейилади.

Энди айланиш ўқига маҳкамланган 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 микдорда 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  $W_{p_1} > W_{p_2}$ , демак, таёқчанинг 1 ҳолатдаги мувозанати турғун бўлмаган мувозанатdir. Шундай қилиб, айланиш ўқига эга бўлган жисмнинг қисман оғиши натижасида унинг потенциал энергияси камаяди ва жисм турғун бўлмаган мувозанатда бўлади. Энди таёқча оғирлик марказининг таёқчанинг осилиш нуқ-



10.23-расм.



10.24-расм.

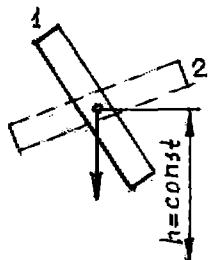
тасидан пастга кўчирилган ҳолини кўриб чиқайлик (10.24-расм). Таёқча Р оғирлик кучи таъсирида 1 ҳолатда бўлсин. Бу ҳолатда таёқчага ташқи куч таъсир этганда 1 ҳолатдан 2 ҳолатга ўтади. Аммо қайтарувчи куч таъсирида яна олдинги 1 вазиятга қайтади, натижада таёқча турғун мувозанатда бўлади. Таёқчанинг бундай мувозанат ҳолатга қайтишига сабаб айланиш ўқига нисбатан таёқча жуда кичик бурчакка оғдирилганда потенциал энергиянинг ортишидир, чунки  $h_1 < h_2$ , шартга асосан  $W_{p_1} < W_{p_2}$ .

Агар жисмнинг айланиш ўқи таёқчанинг оғирлик марказидан ўтса, таёқча фарқсиз мувозанатда бўлади

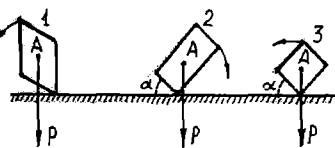
(10.25-расм), чунки таёқчанинг (жисмнинг) оғирлик маркази ер сиртидан 1 ҳолатда ҳам, 2 ҳолатга ўтганда ҳам бир хил баландлиқда бўлади, демак, потенциал энергия ўзгармас бўлади,  $W_p = \text{const}$ .

Навбатдаги вазифа таянч юзали жисмларнинг мувозанат турларини ўрганишдан иборат. Таянч юзага эга бўлган жисмнинг оғирлик марказидан ўтувчи тик чизик 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 баландлиқда бўлишидан ташқари, жисмнинг қандай ҳолатда турганлиги ва таянч юзасининг ўлчамини ҳам билиш керак. Фараз қўйлайлик, цилиндр шаклидаги жисм берилган бўлсин.



10.25-расм.

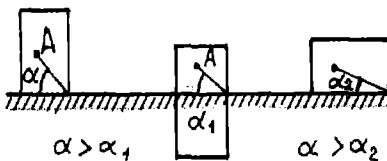


10.26-расм.

Агар цилиндрни жуда кичик бурчакка оғдирисан, у яна ўзининг бошлангич 1 ҳолатига қайтади. Аммо оғдириш бурчаги ани ортириб бориш натижасида оғирлик марказидан ўтувчи тик чизик таянч юзасидан ташқарига чиққанлигини кўрамиз (10.26-расм). Бу ҳолда цилиндр афдарилиб тушади (2 ҳолат). Агар жисмнинг таянч юзаси ортириб борилса, яъни  $S_2 > S_1$ , да оғирлик маркази ер сиртидан бир хил баландлиқда жой-

лашган бўлса, жисм ағдарилмай бошлангич (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 қирроғи билан тугаштирилганда горизонтал сирт 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.



10.27-расм.

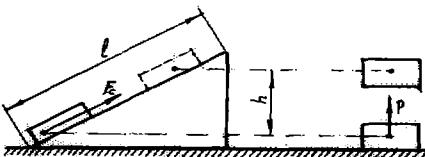
## XI боб

### 57- §. ОДДИЙ МЕХАНИЗМЛАР. МЕХАНИКАНИНГ ОЛТИН ҚОЙДАСИ

Инсоният тарихидан маълумки, одамлар жуда қадим замонлардан бери қўл меҳнатини енгиллаштиришга ҳаракат қилишади. Ана 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 кунида 500 дона мих ясаса, мих ясадиган машина шунча михни ортиғи билан бир минутда ясади. Ёки тикув машинаси матони тикиш учун минутига матога 1500 марта нина санчса, қўлда тикувчи бир минутда 50 марта нина санча олади холос. Машина ва мосламаларнинг энг соддаси оддий механизмлар бўлиб, улар жумласига блок, чифриқ, ричаг, пона, қия текислик, винт ва бошқалар киради. Бу механизмларнинг ишлаш принциплари билан алоҳида-aloҳида танишиб чиқамиз.

#### 1. Юкни қия текислик ёрдамида кўтаришда бажарилган иш

Бунинг учун юкни (жисмни) маълум бир баландликка тик равишда ва қия текислик бўйлаб кўтарилиганда бажарилган ишларни таққослаш керак. Фарз қилайлик,  $M$  жисмни  $h$  баландликка кўтириш керак бўлсин.



11.1-расм.

М жисмни қия текислик бўйлаб текис ҳаракат қилдириб, ишқаланишсиз 1 масофани босиб ўтиб,  $h$  баландликка олиб чиқилган деб аталади, жисмга таъсир этувчи  $F=F_c$  куч таъсирида  $A_1$  иш бажарилади, яъни  $A_1 = F \times l$ , агар жисмни  $P$  оғирлик кучига

тeng бўлган куч таъсирида  $h$  баландликка кўтарсак, бажарилган иш миқдори  $A_2 = P \times h$  га teng 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 кўтарилиганда 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

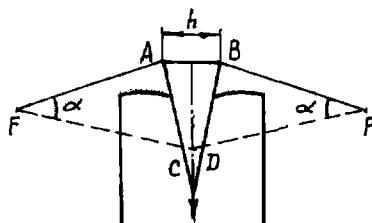
Пона — бу кесими тўғри бурчакли учбурчак ҳосил қилалигидан бир қаттиқ жисмдир. Пона ёрадиган, кесадиган, рандалайдиган асбобларнинг бир қисмини ташкил этади. Масалан, болта, ранда, омочтишлари, қайчи ва бошқалар. Мисол учун понада бирорта жисмга қоқилаётган бўлсин (11.2-расм). Пона жисмга

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 понада қирғоқларига тик бўлган ташкил этувчи  $F$  ва  $F$  кучларга ажратилади. Бу кучларнинг ҳар бири ёриладиган жисмнинг понага бўлган таъсир кучига teng ва қарама-қарши йўналган бўлади, демак, бу кучлар мувозанатлашган.  $P$  куч ва ишқаланиш кучи бўлмаса ёриувчи жисм понани сиқиб чиқаради.  $\alpha$  бурчаклар teng бўлганлигидан, чунки понада teng ёнли учбурчак кўринишида ясалган, учбурчаклар ўхшаш ва қуидаги муносабатни ёзиш мумкин:

$$\frac{AC}{AB} = \frac{l}{h} \quad \text{ёки} \quad \frac{F}{P} = \frac{l}{h}$$

Пона қия текисликнинг бир кўриниши ҳисобланган учун бу мослама ҳам ишда ютуқ бермайди.

Кучдан ютиш мақсадида понанинг орқаси юпқа ва қирғоқлари узун қилиб ясалади.



11.2-расм.

### 3. Винт — қия текисликкінг махсус күріниши

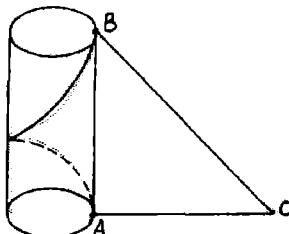
. Сиртига винт изи ўйилған тұғри цилиндр **винт** дейилади.

Винт изи винт чизиги бўйлаб йўналади. Винт чизиги деб цилиндрга ўралған учбурчак гипотенузасининг цилиндр сиртида чизган чизигига айтилади. Бунда учбурчакнинг асоси цилиндр асоси айланасига тенг бўлади (11.3-расм).

Винт чизигининг цилиндр ясовчиси устидаги иккита күшни нуқтаси орасидаги масофа **винтнинг қадами** дейилади.

Ёғочни, металлни ва ерни тешища винтнинг махсус тури пармадан фойдаланилади. Винт изини жипс қилип ўраб олган жисм **гайка** дейилади. Гайканың ички томонида ҳам винт изи бўлади. Винт ёрдамида жисмни кўтартганда ёки туширганда қўйилған куч винтнинг ўқи бўйлаб олдинги томонга йўналади. Қаршиликни енгувчи куч эса винт цилин드리 айланасига уринма чизик бўйлаб йўналади. Одатда таъсир қиласидан кучни тўғридан-тўғри цилиндр сиртига қўйилмасдан, винтнинг бошига радиуси катта бўлган доира ёи қўйиб, шу даста ёки доиранинг четки нуқталарига қўйилади.

Винтда кучларнинг мувозанатлик шартини қўллаш учун, винтдаги бир куч узуунлиги винт чизигини ташкил қиласидан қия текисликкінг баландлиги  $h$  га, иккинчиси эса унинг асосига параллел равишда таъсир қиласиди. Винтнинг қадамини  $h$ , 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 айланғанда таъсир этувчи кучнинг таъсир қиласидан нуқтаси винт доираси айланасининг узуунлиги  $2\pi R$  масофага кўчиб,  $A_F = 2\pi RF$  иш бажаради. Қаршилик кучи  $P$  таъсир қиласидан 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-



11.3-расм.

дан  $A = \frac{Ph}{2\pi R \cdot F}$  келиб чиқади.

Ишқаланиш бўлмаганда винтни мувозанатда сақлаш ёки текис ҳаракат қилдириш учун винт қадами винт доираси-нинг айланасидан неча марта кам бўлса, винтнинг доирасига таъсир қилувчи куч ҳам, винтнинг ўқи бўйлаб йўналган кучдан шунча марта кам бўлади.

Винт қадами жуда майдо 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

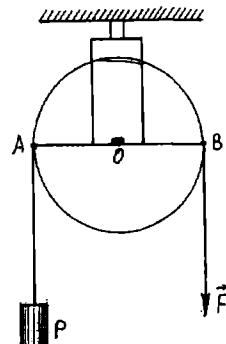
#### 4. Блок, блок турлари

Ўз ўқи атрофида айланувчи ва ён сиртига арқон, ип, занжир ўтказиш учун нав шаклида ўйилган фидирек **блок** дейилади. Юк кўтариш жараёнида айланиш ўқи кўзғалмайдиган 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-расм). Блокни мувозанат ҳолатда сақлаш ёки  $O$  ўқи атрофида текис айлантириш учун уни соат мили ҳаракати йўналишидаги айлантирувчи куч моменти соат мили юришига тескари йўналишда айлантирадиган куч моментига тенг бўлади.

Кўчмас блокда куч елкалари блок радиусига тенг бўлади.  $OA=OB=r$  ҳаракатланувчи куч моменти  $F_r$ , оғирлик қучининг моменти эса  $P_r$  бўлганлигидан,  $F=P$  дан шарт келиб чиқади. Демак, кўчмас блок кучдан ютуқ бермайди, аммо куч таъсир йўналишини ўзгатиришга имкон беради.

Мисол учун, юкни иккинчи қаватга чиқариш керак бўлса, кўчмас блок ёрдамида чиқағиши 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-расм.

күчмас блок орқали арқоннинг бир учига бойлаб, иккинчи учини тик ёки қия равишда пастга тортганимизда юк юқорига кўтарилади. Юкни  $h$  баландликка кўтарилиганда  $A_2=Ph$  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, күчмас блок ҳам ишдан ютуқ бермас экан.

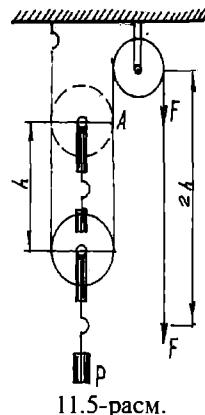
Кўчар блокдан фойдаланган вақтда кўтариладиган юк блокнинг ўқини айлантириб олган тутқичдаги илмоққа осилади (11.5-расм). Оғирлик кучи таъсир қиласидан нуқта блокнинг ўқида бўлади. Юкни кўтарилиган ҳаракатлантирувчи куч арқоннинг бўш учининг А нуқтасига қўйилади. Ҳаракатлантирувчи кучни тик юқорига қаратиб йўналтириш ўрнига арқон күчмас блокдан ўтказилади. Куч эса тик пастга қаратиб қўйилади. Кучлар блок кўтарилиганда арқоннинг маҳкамланган учи блокка тегиши нуқтасидан ўтадиган ўқ атрофида айланна бошлиди ва айланиш ўқи 0 нуқтадан ўтади. Бу ўққа нисбатан оғирлик кучи  $P$  нинг елкаси блок радиусига тенг бўлади. Куч моменти эса  $P_2$ , га тенг бўлади. Ҳаракатлантирувчи кучнинг елкаси блокнинг диаметри  $2r$  га тенг бўлиб, унинг куч моменти  $2rF$  бўлади. Моментларнинг тенглигидан ( $2rF=P_2$ ) муносабатни ёзиш мумкин.

Демак, кўчар блокдан фойдаланганда қучдан 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 олсан,

$$A_1 = 2h \frac{P}{2} = Ph \text{ келиб чиқади. Шунинг учун ҳам } \frac{A_1}{A_2} = \frac{Ph}{Ph} = 1$$

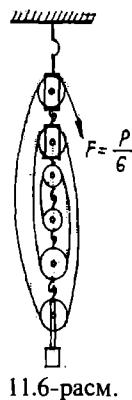
шарт бажарилади.



11.5-расм.

Шундай қилиб, күчар блокдан фойдаланганда ҳам ишдан ютилмас экан деган хulosага келинади.

Амалда кучдан күпроқ ютиш мақсатыда полиспастлардан фойдаланилади. Полиспаст маълум бир усулда бирлаштирилган блоклардир. Полиспаст — грекчадан олинган бўлиб, полис — кўп, спаст — ортамаң деган маънени билдиради. Полиспастнинг бир тутқичида күчар блоклар, иккинчи тутқичида кўчмас блоклар ўрнатилади. Кўчар ва кўчмас блоклар сони бир хил бўлади. Бундай полиспаст **каррали полиспаст** дейилади (11.6-расм). Бундан ташқари, блокларнинг ҳаммаси бир умумий ўққа кўчмас блокларнинг ҳаммаси эса иккинчи бир умумий ўққа ўрнатилади. Фараз қиласайлик, 6 блокли каррали полиспаст ёрдамида юкни 1 м баландликка кўтариш керак бўлсин. Бунинг учун блокларни ўраб олган 6 та арқонинг ҳар бирини 1 м дан тортиш керак, у ҳолда арқоннинг бўш уни 6 марта кўпроқ, яъни 6 м га тортилади, демак, таъсир этувчи куч оғирлик кучидан 6 марта кам бўлади. Умумий блоклар сони н та бўлса, юкни  $h$  м баландликка кўтариш учун н та арқоннинг ҳар бирини  $h$  м тортиш керак. Арқоннинг бўш унини эса  $n h$  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 teng бўлади. Ишларнинг тенглигидан  $nhF = Ph$ , бундан қўйидаги муносабатни ёзиш мумкин:  $F = \frac{P}{n}$ .



11.6-расм.

$$\text{батни ёзиш мумкин: } F = \frac{P}{n}$$

Демак, каррали полиспастларда ҳаракатлантирувчи куч миқдори блоклар сони билан аниқланар экан, яъни кучдан н марта ютиш мумкин экан. Полиспаст омборларда юк кўтаришда, темир йўлларда тендуларга кўмирир юклашда, кемаларда елканларни тутиб туришда кўпроқ қўлланилади.

### 5. Чигириқ ва унинг турлари

Ўқига фидирик кийгизилган вал чигириқ дейилади, у ишлаган вақтда чигириқнинг ўқи кўзғалмас подшипникларда айланади (11.7-расм). Баъзан радиус бўйлаб айланадиган

кегай күлланилади. Бундай чиғириқ ёрдамда қудуқлардан сув олинади. Оғир буюмларни күчирishiда ёки үтәришда лебедкали чиғириқдан фойдаланылади.

Лебёдкада оддий ғилдирак үрнига иккита ҳар хил диаметрли тишли ғилдирак үрнатылади ва тишли узатма ёрдамида вал ҳаракатга келтирилиб юқ күтәриләди. Ўқитик жойлаштырылған чиғириқ **кабестон** дейиләди. Кабестанлар асосан кемаларда лантарларни күтәришда ишлатылади.

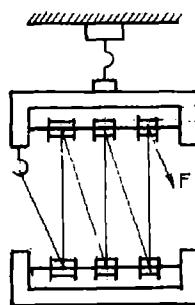
Чиғириқда оғирлик күчи асосан чиғириқ ўқига үралған арқонга таъсир қиласы. Бу күчни енгүвчи ёки текис ҳаракатни юзага келтирүвчи күч эса ғилдиракка үралған арқонга таъсир қиласы. Бу күчлар вал ва ғилдиракка уринма чизиқ бүйлаб таъсир қиласы, натижада қарама-қарши йұналишда күч моментлари ҳосил бўлади. Ҳаракатлантирувчи  $F$  күчнинг елкаси ғилдиракнинг  $R$  радиусынан тенг бўлиб, унинг моменти  $FR$  га, оғирлик күчининг елкаси валнинг радиуси  $r$  га тенг бўлиб, унинг моменти  $Pr$  га тенг бўлади. Моментлар тенглигидан  $FR=Pr$ ,  $F/P=r/R$  келиб чиқади.

Демак, чиғириқда валнинг радиуси ғилдирак радиусидан неча марта кичик бўлса, ғилдиракка қўйилған күч ҳам валга қўйилған күчдан шунча марта кам бўлади.

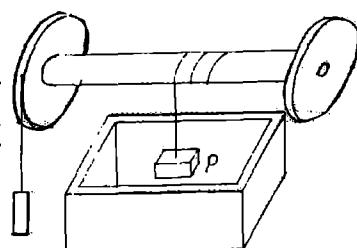
Чиғириқ ғилдираги бир марта айланганда унга таъсир этувчи күч қўйилған нүқта айлана узунлигига ( $2\pi R$ ) тенг масофага кўчади, натижада  $A_1 = 2\pi RF$  миқдорда иш бажара-ди. Моментларнинг тенглигидан  $FR=Pr$  га асосан  $A_1=A_2$  мұносабатни ёзамиз. Шундай қилиб, чиғириқ ҳам ишдан ютуқ бермаслигига ишонч ҳосил қилинади.

## 6. Ричаг ва унинг турлари

Оғир юкларни күтәриш ёки силжитиш учун күпинча таянч нүқтага ёки айланиш ўқига эга бўлган мослама ричагдан фойдаланилади. Лом билан оғир нарсаларни күтәришда, бол-



11.7-расм.



11.8-расм.

ғанинг ўткир учи билан михни сугуриб олишда, белкурак билан ерга ишлов беришда, ўроқ билан ўришда, қайчи билан материални қийишша энг содда ричаг сифатида фойдаланилади.

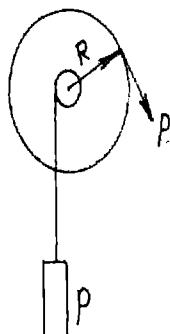
Ричаглар икки хил кўринишда бўлади. Биринчи тур ричагларда айланиш ўқи қўйилган кучлар орасида жойлашган бўлиб, таъсир қилувчи кучлар бир томонга йўналган бўлади (11.10-расм). Қайчи, темир йўл шлабауми, тенг елкали ва турли елкали тарозилар биринчи тур ричагларга мисол бўлади. Иккинчи тур ричагда, ричагнинг 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.

Ричагга қўйилган кучнинг таъсир чизиги билан таянч нуқта орасидаги энг қисқа масофа кучнинг елкаси дейилади.

Кучлар мувозанатининг асосий шарти ричагга таъсир этувчи кучнинг айлантирувчи 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 шунчак марта ютуқ беради. Расмдан  $F_1$  куч таъсирида бир текис  $a$  бурчакка бурилса, бу кучнинг бажарган иши  $A_1 = -h_1 F_1$ ,  $F_2$  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-

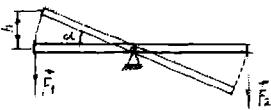
гини ҳисобга олсак,  $\frac{A_1}{A_2} = \frac{F_1 h_1}{F_2 h_2} = \frac{l_2 h_1}{l_1 h_2} = 1$  шарт ўринли бўлишидан  $h_1/h_2 = l_1/l_2$  муносабатни ёзиш мумкин.

Шундай қилиб, ричаг ишда ютуқ бермас экан.



11.9-расм.

Күп асрлық амалий ишлар натижасида кучни ўзгартышига хизмат қыладиган мосламалар, янын оддий механизмларнинг биронтаси ҳам ишда ютуқ бермаслигига ишонч ҳосил қилинди, агар күчдан ютилса, йўлдан ютказилади ва аксинча, йўлдан ютилса, күчдан ютказилади, бу қоида «механиканинг олтин қоидаси»дир.



### МАСАЛА ЕЧИШ НАМУНАЛАРИ

11.11-расм.

*1-масала.*  $60^{\circ}$  остида таъсир этувчи  $2 \text{ Н}$  ва  $3 \text{ Н}$  бўлган кучларнинг тенг таъсир этувчисини аниқланг (11.12-расм).

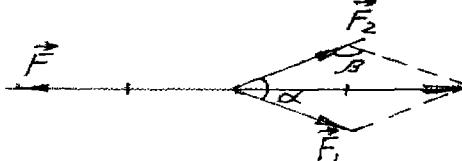
Берилган:	Ечиш. Масалани ечиш учун чизма чизамиз. Косинуслар теоремасига асосан тенг таъсир этувчи кучни топамиз.
$F_1 = 2 \text{ Н}$	
$F_2 = 3 \text{ Н}$	
$\alpha = 60^{\circ}$	$R^2 = F_1^2 + F_2^2 - 2 F_1 F_2 \cos \beta$
Топиш к-к: $F \rightarrow ?$	бурчак $\beta = 180^{\circ} - \alpha$ га тенг.

$$F = R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1 F_2 \cos \alpha} = \\ = \sqrt{2^2 H^2 + 3^2 H^2 + 2 \cdot 2H \cdot 3H \cos 60^{\circ}} = 4,364 \text{ Н};$$

*Жавоб.*  $F = 4,36 \text{ Н}.$

*2-масала.* Турли елкага эга бўлган тарозида  $0,3 \text{ кг}$  массали жисм тортилди. Тарози елкалари  $\frac{l_1}{l_2} = \frac{1}{3}$  исбатда бўлганда

елкалар йиғиндиси  $l_1 + l_2 = 0,24 \text{ м}$  бўлади. Таъсир этувчи оғирлик кучи  $1,5 \text{ Н}$  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 кўшиш қоидасини қўллаймиз.

$$m_2 g l_2 + P_k [l_2 - (l_1 + l_3)/2] = m_1 g l_1$$

$$m_2 g l_2 = m_1 g l_1 - P_k [l_2 - (l_1 + l_2)/2]$$

$$m_2 = \frac{m_1 g l_1 - P_k [l_2 - (l_1 + l_2)/2]}{g l_2} = m_1 \frac{l_1}{l_2} - \frac{P_k}{2g} \left( 1 - \frac{l_1}{l_2} \right);$$

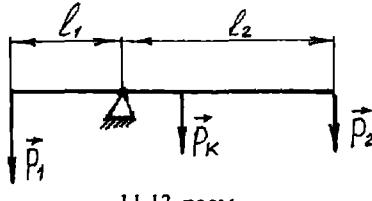
$$m_2 = 0,3 \text{ кг} \times \frac{1}{3} \times \frac{1,5 \text{ Н}}{2 \times 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} \times \left( 1 - \frac{1}{3} \right) = 4,9 \times 10^{-2} \text{ кг}.$$

Жавоб.  $m_2 = 4,9 \times 10^{-2} \text{ кг}$ .

3-масала. Айланиш ўқига эга бўлган жисмга соат кўрсаткичи 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 кучлар таъсири этади. Куч елкалари мос равищда  $l_1 = 0,5 \text{ м}$ ,  $l_2 = 0,25 \text{ м}$ ,  $l_3 = 0,75 \text{ м}$  ва  $l_4 = 0,2 \text{ м}$  бўлса, жисм қайси йўналиш бўйича айланади? Жисм мувозанат ҳолатда бўлиши учун куч моменти қандай бўлиши керак?

Берилган:  
 $F_1 = 5 \text{ Н}; l_1 = 0,5 \text{ м}$

$F_2 = 3 \text{ Н}, l_2 = 0,25 \text{ м};$   
 $F_3 = 2 \text{ Н}, l_3 = 0,75 \text{ м}$



11.13-расм.

Ечиш. Соат кўрсаткичи йўналишидаги моменти:

$$M_1 = F_1 l_1 + F_2 l_2 = 5 \text{ Н} \cdot 0,5 \text{ м} + 3 \text{ Н} \cdot 0,25 \text{ м} = 3,25 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

аксинча йўналишдаги моменти:

$$M_2 = F_3 l_3 + F_4 l_4 = 2 \text{ Н} \cdot 0,75 \text{ м} + 6 \text{ Н} \cdot 0,2 \text{ м} = 2,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$F_4 = 6 \text{ Н}, l_4 = 0,2 \text{ м}$$

Топиш к-к:

$$M \rightarrow ?$$

Айланиш ўқига нисбатан моменттарнинг алгебраик йигиндиси нолга тенг булмаганлиги сабабли жисм мувозанат ҳолатида бўмайди. Мувозанат ҳолатини амалга ошириш учун қўшимча момент жисмга қўйилиши керак, яъни

$$M = M_1 - M_2 = 3,25 \text{ Нж} - 2,7 \text{ Нж} \times m = 0,55 \text{ Нж} \times \text{м}.$$

Демак, жисм соат кўрсаткичи йўналишига тескари йўналишда айланиши керак.

**4-масала.** Антenna мачтанинг юқори учига горизонтал йўналишда 500 Н куч билан таъсир қиласди. Мачта узунлиги 17 м лик тортки билан тортиб, маҳкамлаб қўйилган (11.14-расм). Агар мачтанинг баландлиги 15 м бўлса, мачтага ва торткичга таъсир килувчи кучларни топинг.

Берилган: Ечиш. Масалани ечиш учун чизма чизамиз.

$$h = 15 \text{ м}$$

$$l = 17 \text{ м}$$

$$F = 500 \text{ Н}$$

Топиш керак:

$$F_1 \rightarrow ? \quad F_2 \rightarrow ?$$

Параллелограмм қоидасига асосланаб  $F$

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 учурчакдан AC томонни топамиз

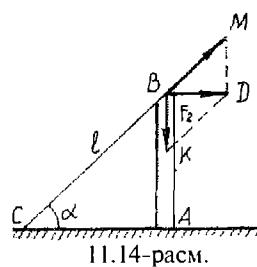
$$AC = \sqrt{l^2 - h^2}$$

ABC ва BDM учурчаклар 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 учурчаклар ўхшашлигидан MD томонни аниқлаш мумкин:

$$\frac{MD}{AB} = \frac{BD}{AC}; MD = \frac{BD \times AB}{AC}$$



Учурчак BDM ва KBD да  $M\bar{D} = V\bar{K} = F_2$ ;  $B\bar{D} = F$ .

Демак,

$$F_2 = \frac{F \times AB}{AC}; AB = h.$$

Хисоблашларни амалға оширамиз:

$$F_1 = \frac{500H \times 17_M}{\sqrt{(17_M)^2 - (15_M)^2}} \approx 1600; F_2 = \frac{500H \times 15_M}{\sqrt{(17_M)^2 - (15_M)^2}} = 940H$$

Жағоб.  $F_1 = 1600$  H;  $F_2 = 940$  H.

# ТЕБРАНИШЛАР ВА ТҮЛҚИНЛАР

## 58-§. ТЕБРАНМА ҲАРАКАТ

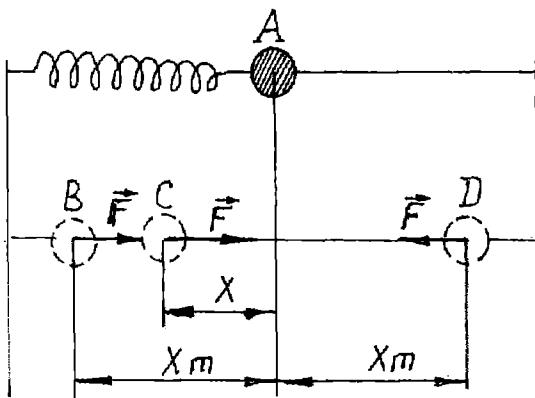
Кундалик ҳаётимизда ҳар қадамда тебранма ҳаракатта дуч келамиз. Дараҳтларнинг барги, шохларининг шамол пайтидаги тебраниши, даладаги буғдор майсаларининг тебраниши, мусиқа асбоблари — рубоб, тор, дугор торларининг ҳаракати, осма соат тебрангичи ҳаракати, телефон мембранасининг тебраниши, ички ёнув двигатели цилинтридаги поршеннинг ҳаракати тебранма ҳаракатта мисол бўлади. Тебранма ҳаракатлар механик, электромагнит, электромеханик тебранма ҳаракатта 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 таъсири кучи **ташқи куч** дейилади.

Вақт ўтиши билан тақрорланиб 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 воситасида амалга ошиши керак.

Энди эркин (хусусий)тебранишларни юзага келиш сабабларини аниқлашга киришамиз. Буни пружинали тебрангичнинг тебраниш жараёни билан танишишдан бошлаймиз (12.1-расм). Фараз қиласайлик, 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 такоррланиб, охири тўхтайди.

Бундай тебрангичнинг тебраниши эластиклик кучи ва шарчанинг инертилигига боғлиқдир.

Агар пружинали тебрангичнинг бошланғич вақтидаги мувозанат вазиятидан силжишини  $x$  деб белгиласак, у ҳолда

шарчанинг мувозанат вазиятидан энг катта силжиши  $X_m$  бўлиб, унга тебрангичнинг **амплитудавий қўймати** дейилади. Шарчанинг массаси таъсир этувчи эластиклик кучини  $F_m$  билан белгиланса, Гук қонунига асосан  $F_m = -kX$  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 тезланиши ҳаракатини ҳисобга олсан,  $ma = -kX$  тенглик ўринли ҳисобланади. У ҳолда шарчанинг тезланиши

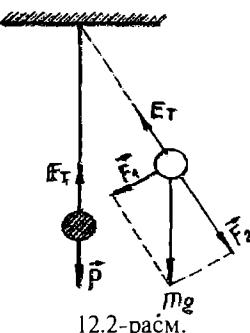
$a = \frac{k}{m}X$  бўлиб, тебранишни даврий эканлигини исботлайди. Пружинали тебрангичларнинг тебраниши даврий бўлиб, унинг тезланиши силжиш масофасига тўғри пропорционал бўлади ва йўналиши жиҳатидан қарама-қарши йўналади. Бикирлик коэффициенти  $k > 0$  ва  $m > 0$  бўлганлиги учун

$\frac{R}{m} > 0$  шарт бажарилади.  $\frac{R}{m} = W_0^2$  катталикка **хусусий частота** дейилади.

$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$  десак, тезланиш  $\alpha = -\omega_0^2 X$  ифодага пружинали тебрангичнинг **эркин тебраниш тенгламаси** дейилади.

Навбатда осмага ингичка ил билан осилган  $m$  массали юқдан иборат тизимни кўриб чиқайлик (12.2-расм). Тизим мувозанат вазиятида бўлганда, шарчага оғирлик  $P$  билан таранглик кучи  $F_t$  таъсир этади, бу кучлар ўзаро тенг ва қарама-қарши йўналгани учун тизим мувозанат вазиятида бўлади. Шарчани мувозанат вазиятидан бир оз четлатиб, қўйиб юбориласа, тебрангич мувозанат вазияти атрофика даврий равишда тебранади.

Тебрангичнинг даврий равишда тебранишига сабаб, тизими мувозанат



12.2-расм.

ҳолатига нисбатан бурчакка четлатилганда шарча ўз оғирлик күчининг  $F_1 = m g \sin \alpha$  га тенг ташкил этувчиси таъсирида бўлади. Бу куч таъсирида ҳамма вақт мувозанат ҳолатга қайтишга ҳаракат қиласи, аммо шарча бирдан тўхтаб қолмай инерцияси туфайли тебранма ҳаракат қиласи. 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 масофа-сига пропорционал бўлган ва дастлабки мувозанат ҳолатига қайтарувчи куч таъсирида содир бўладиган эркин тебранишга айтилади.

Гармоник тебранишлар синус ёки косинус қонунига бўйсунади. 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  $\nu$  (ню) ҳарфи билан белгиланади. Тебраниш фазаси деб даврнинг тебраниш бошлангандан ўтган улушлари билан ўлчанадиган катталикка айтилади.

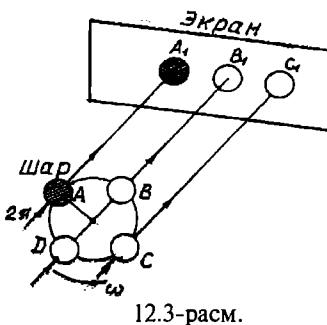
Давр ва частота бир-бири билан қуйидагича боғланган:

$$T = \frac{1}{\nu}; \quad \nu = \frac{1}{T}.$$

Халқаро бирликлар системасида давр бирлиги секунд (с), частота бирлиги эса Герц (Гц) қабул қилинган.

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{c} = 1 \text{с}^{-1} = 1 \text{Гц}$$

Фараз қилайлик, шарча айланы бүйлаб текис ҳаракат қилаётган бўлсин (12.3-расм). Шарчанинг ёруғлик нурлари орқали тасвири нурлар йўлига тик кўйилган экранда ҳосил бўлади. Бу тасвир гармоник тебранишларнинг тасвири бўлиб, бунда Т тебраниш даври шарчанинг айланниш даврига, бурчак тезлиги

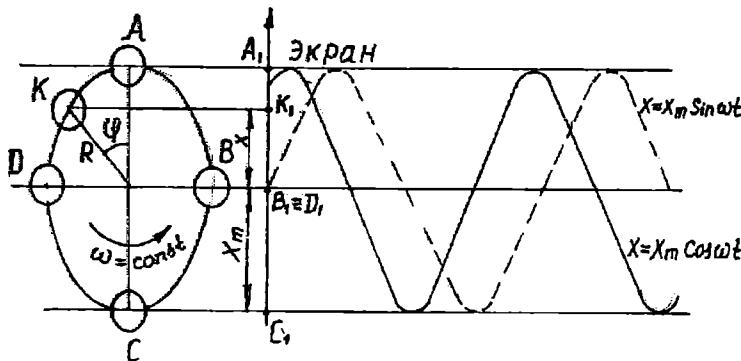


12.3-расм.

$$W = \frac{2\pi}{T} \text{ тебранишнинг циклик}$$

(доиравий) частотасига тенг бўлади. Доиравий частота  $W_0$  жисмнинг  $2\pi$  секунд давомида неча марта тўла тебраниши ифодаловчи катталик 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<sub>1</sub> бўлади. Т вақт ўтгандан сўнг шарча ўзгармас бурчак тезлик билан ҳаракат қилиб K вазиятга ўтса, экранда тасвири K<sub>1</sub> нуқтада бўлади. Натижада айлананинг радиуси φ бурчакка бурилади. Тебранма ҳаракат қилаётган шарчанинг сояси бу вақтда |B<sub>1</sub>|, |K<sub>1</sub>| = X масофага кўчади.



12.4-расм.

Расмдан  $X = R \cos \varphi$ , шунингдек,  $R = |OA| = |B_1 A_1| = X_m$  бўлганилиги сабабли  $X = X_m \cos \omega t$  тенгламани ёзиш мумкин.

Бурчак тезлик  $\dot{\varphi} = \frac{\varphi}{t}$  дан бурилиш бурчаги  $\varphi = \omega t = \frac{2\pi}{T}t = 2\pi v t$

га тенг бўлади. Бу натижани  $X = X_m \cos \varphi$  га қўйсак,

$X = X_m \cos \frac{2\pi}{T}t$  кўринишга келади.  $\varphi = \omega t = \frac{2\pi}{T}t = 2\pi v t$  кат-

талик силжиш миқдори ва йўналишини белгилангани учун **тебраниш фазаси** дейилади. Умумий ҳолда гармоник тебра- нишлар  $X = X_m \cos (\omega t + \varphi_0)$  кўринишда ёзилади. Тенгламада  $\varphi_0 t = 0$  вақтдаги тебраниш фазаси ёки бошланғич фаза дей- илади. Охирги тенгламани

$$X = X_m \sin (\omega t + \varphi_0)$$

кўринишда ҳам ёзиш мумкин.

Бу тебранма ҳаракатнинг тезланиши ҳаракат эканлигини юқорида кўриб чиқдик. Бундай ҳаракатда тезлик билан тезла- ниш қандай ўзгаради? Бу катталиклар бир вақт моментидан иккинчи вақт моментига ўтганда ўзгаради, демак, бир нуқ- тадан 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 ҳолат- дан ўтишда тезлик энг катта қийматга эга бўлади. Бу ҳолатда жисм тезланиши 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, тебранма ҳаракатда тезлик ва тезланиш даврий ўзга- ради. Ҳар бир давр орасида тезлик вектори йўналиши ва мо- дули бўйича тақрорланиб туради.

## 60-§. МАТЕМАТИК, ПРУЖИНАЛИ ВА ФИЗИК ТЕБРАНГИЧЛАР

**Маятник** деб оғирлик марказидан ўтмаган ихтиёрий ўқ атрофида тебрана оладиган ҳар қандай қаттиқ жисмга айти- лади. Маятникларга мисол қилиб михга осилган гардишни, ипга осилган қандилни, тарозининг шайинини кўрсатиш

мумкин. Энг содда тебрангич математик тебрангич ҳисобланади. Математик тебрангич деб вазнсиз ингичка чүзилмайдиган ипга осилган, маълум массали нуктадан иборат тизимга айтилади.

Амалда узунлиги  $l$  бўлган вазнсиз ипга кичик массали шарчани осишда ҳосил бўлган тизимни математик тебрангич деб қараш мумкин (12.5-расм). Тебрангич мувозанат вазияти оғирлик кучи  $P$  билан ипнинг таранглик  $F_t$  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 оғидирсак, уни мувозанат вазиятга қайтарувчи куч вужудга келади, яъни

$$F_1 = Ps \sin \alpha = mgs \sin \alpha.$$

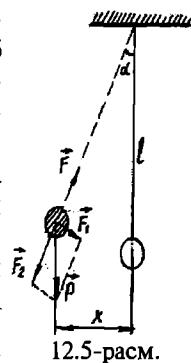
Бу куч ўзининг хусусияти жиҳатдан эластиклик кучига ўхшаш бўлади, чунки бу куч ҳам тебрангични мувозанат ҳолатига қайтаришга интилади. Шунинг учун ҳам бу куч **квазиэластик** куч деб аталади. Ньютоннинг иккинчи қонунига биноан  $F$ , куч таъсирида тебрангич тезланиш олади. Агар шарчанинг массасини  $m$ , тезланишини  $a$  десак, куйи-даги муносабат ўринли бўлади:

$$ma = -mgs \sin \alpha \quad \text{ёки} \quad a = -g \sin \alpha.$$

Манфий ишора  $F_1$ , кучнинг силжиш йўналишига қарама-қарши йўналганлигини билдиради. Расмдан  $\sin \alpha = \frac{X^1}{l}$

эканлигини ҳисобга олсак,  $\ddot{a} = -\left(\frac{g}{l}\right)\ddot{X}$  тезланишнинг қийматига эга бўламиз. Иккинчи томондан  $\alpha = -\omega_0^2 X$  эди.

Тезланишларнинг бу қийматларини ўзаро тенглаштиришак,  $\omega_0^2 X = \frac{g}{l} X$  ёки  $\omega^2 = \frac{g}{l}$  бўлиб, бу тебрангичнинг циклик (доиравий) частотасини  $\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$  формула ёрдамида аниқлашга имкон беради.



12.5-расм.

Тебраниш даври  $T = \frac{2\pi}{\omega}$  га асосан **Гюйгенс формуласи**

келиб чиқади:  $T = 2\pi \sqrt{\frac{1}{q}}$

Тебрангичларнинг тебранма ҳаракатларини биринчи бор тажрибада текширган олимлар Галилей, Гюйгенс ва Боссель, шунингдек, бошқа олимларнинг олиб борган изла-нишлари натижасида математик тебрангич учун қуидаги холосага келамиз:

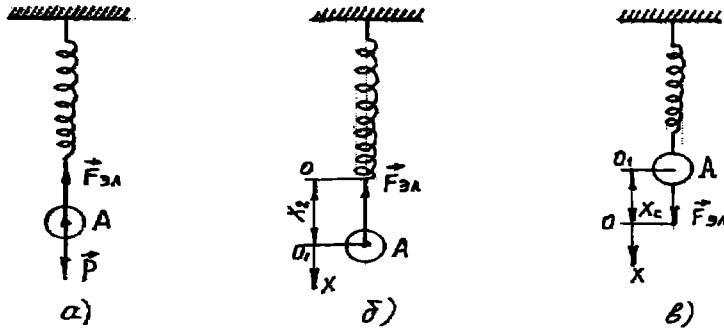
- 1) тебрангичга таъсир этувчи квазиэластиклик кучи  $X$  силжишга тўғри пропорционал бўлади;
- 2) тебрангич жуда кичик бурчакка оғдирилганда ҳосил бўлган тебранишларни гармоник тебраниш деб ҳисоблаш мумкин. Оғиш бурчаги  $3^0$  дан ортмаганда бу холоса ўринли бўлади;
- 3) тебраниш даври тўла тебраниш даврининг ярмига тенг бўлса, бундай тебранишга оддий тебраниш кўринишда ёзиш мумкин.

Тажрибада бир хил узунликдаги вазнсиз ипга 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 вақтлилик) хусусияти аниқланди. Бу қонуният очилиш (четга чиқиши) бурчаги  $6^0$  дан ортмаганда ўринли бўлади. Тебраниш сўнумвчи тебраниш бўлганлиги сабабли тебраниш даври тебрангичнинг 1 узунлигига боғлиқлиги натижасида квазиэластиклик кучи намоиши ҳисобига тебраниш даврини ортиши аниқланади.

Юқоридаги холосаларга асосаланиб, қуидаги икки қонуниятни таърифлаймиз:

1. Агар очилиш бурчаги  $6^0$  дан ортмаса, математик тебрангичнинг тебраниш даври унинг массаси ва амплитудасига боғлиқ бўймайди.
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 юқдан иборат бўлган тизим пружинали тебрангич деб аталади. Тебрангич мувозанат вазиятида бўлганда, унга оғирлик кучи  $P$  билан эластиклик кучи  $F_{\text{эл}}$  таъсири этади. Бу кучлар йўналиши жиҳатидан қарама-қарши йўналган, аммо миқдор жиҳатидан 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.



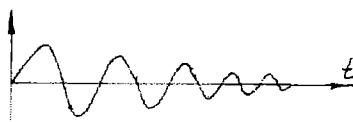
12.6-расм.

Бу тебранма ҳаракат пружинанинг чўзилиши ёки сиқилишида ҳосил бўлган  $F_{\text{эл}}$  эластиклик кучи ҳисобига амалга ошади. Бу кучнинг йўналиши доимо тебрангичнинг силжиш 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  $F_{\text{эл}}$  кучи таъсирида ҳаракат қила бошлайди. Бундай ҳаракат даврий равишда такрорланади ва муҳитнинг қаршилиги натижасида охири тебранишдан тўхтайди (12.7-расм).

Пружина чўзилгада ёки сиқилганда (кам миқдорда) Гук қонуни ўринли бўлади, яъни

$$F_{\text{эл}} = -kX$$

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 тезланиши ҳаракатда иштирок этганлиги учун  $\tau = -kx$  муносабатни ёзиш мүмкін. Тизимнинг тезланиши  $a = -\frac{k}{m}X = -\omega_0^2 X$  бўлади.

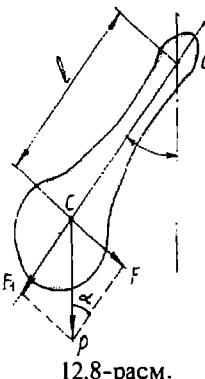
Циклик (доиравий) частота  $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$ , чунки  $\omega_0^2 = \frac{k}{m}$  эди.

Тебрангичнинг тебраниш даври формулага  $T = \frac{2\pi}{\omega_0}$  циклик частота ифодасини қўйиб, пружинали тебрангичнинг тебраниш 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 1 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 қиласи. Физик тебрангичнинг оғирлик кучи унинг оғирлик марказида жойлашганлиги учун тебрангич мувозанат ҳолатига қайтади, демак, қайтарувчи куч оғирлик кучининг  $F$  ташкил этувчиси экан. 0 осилиш ўқига нисбатан бу кучнинг ҳосил қилган моменти  $M = -Fl = -mglsin\alpha$  га teng бўлади. Манфий ишора қайтарувчи  $F$  кучнинг 0 осилиш ўқига нисбатан тебрангичнинг бурилиш бурчакига ва  $sin\alpha$  бурчакка тескари йўналишда бўлишини билдиради.

Тебрангич айланма ҳаракат қилгани учун ҳосил бўлган куч моменти  $M = J\epsilon$  га teng эканлигини эслатиб ўтамиз. Куч моментларининг тенглигидан  $J\epsilon = -mgl sin\alpha$  тенгликни ёзиш



12.8-расм.

мумкин. Формулада  $J$  — тебрангичнинг инерция моменти,  $\varepsilon$  — бурчак тезланиши.

Бурилиш бурчаги жуда кичик бўлганлиги сабабли  $\sin\alpha=\alpha$

дэйиш мумкин. У ҳолда  $\varepsilon = \frac{mgl}{J} = \omega_0^2$  бўлади.

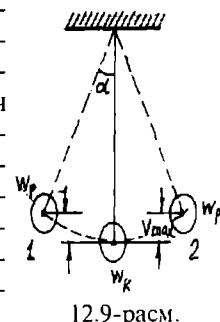
Бундан циклик частотани  $\omega_0 = \sqrt{\frac{mgl}{J}}$  деб белгиласак, физик тебрагичнинг тебраниш даврини қўйидаги формула ёрдамида топамиз:

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{J}{mgl}}$$

Демак, физик тебрангичнинг тебраниш даври унинг масасига боғлиқ бўлмай массанинг тебрангичда тақсимланишига боғлиқ экан. Формулада  $L = \frac{J}{mgl}$  физик тебрангичнинг келтирилган узуонлиги. Физик тебрангичлар асосан изохронлик хусусиятига биноан соатларда кўпроқ қўлланилади.

## 61-§. ГАРМОНИК ТЕБРАНМА ҲАРАКАТ ЭНЕРГИЯСИ

Математик тебрангични мувозанат вазиятидан жуда кичик α бурчакка оғдириш натижасида тебрангичга қўшимча потенциал энергия берган бўламиз, бу энергиянинг микдори  $W_p = mgH_{max}$  бўлади. Формулада  $H_{max}$  — тебрангичнинг энг юқори кўтарилиш баландлиги (12.9-расм). Тебрангич қўйиб юборилганда, у тебранма ҳаракат қила бошлайди, тебрангич оғирлик кучи ва ишнинг таранглик (квазиэластик кучи) кучи таъсирида мувозанат вазият томон ҳаракат қилади. Бу ҳолда тебрангичнинг потенциал энергияси кинетик энергияга айланади. Мувозанат вазиятда тебрангичнинг потенциал энергияси тўлиқ кинетик 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 эгаллади, сўнгра тескари йўналишда орқага қайтади. Ишқаланиш кучининг таъсири ҳисобга олинмаса, энергиянинг сақланиш қонунига асосан потенциал энергиянинг энг катта қиймати кинетик энергиянинг энг катта қийматига teng бўлади, яъни

$$mgH_{\max} = \frac{mV_{\max}^2}{2}$$

Тебрангич даврий равишда тебранганлиги учун потенциал энегия кинетик энергияга ва аксинча, даврий айланышлар амалга ошади.

$$W_p \rightarrow W_k \rightarrow W_p \rightarrow W_k \rightarrow W_p \rightarrow$$

Тебрангичнинг тўла меҳаник энергияси энергиянинг айланыш ва сақланиш қонунига биноан потенциал ва кинетик энергияларнинг йифиндисига teng

$$W_t = W_p + W_k.$$

Кузатишлар натижасида тебрангичнинг тебраниш вақтида тебранишлар амплитудаси аста-секин камайиб тебранишларнинг сўнишига ишонч ҳосил қиласди. Тебранишларнинг сўнишига сабаб тебрангичга берилган бошлангич 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 то-пайлик. Бунинг учун пружинали тебрангичнинг потенциал энергиясини аниқлаймиз. Пружинали тебрангични мувоза-

нат вазиятидан X масофага (чўзиб ёки сиқиб) чиқарилса, тебрангичга эластилик кучи таъсир этиб, мувозанат вазиятга қайтаришга ҳаракат қиласи. Гук қонунинг биноан эластилик кучи  $F_{\text{ж}} = -kX$  таъсирида тебрангич мувозанат вазиятига қайтарилганда  $kx$  дан 0 гача ўзгаради.  $F_{\text{ж}}$  кучнинг бажарган иши  $A = F_{\text{ж}} \times x$  бўлиб, текширилаётган нуқтадаги тебрангичнинг потенциал энергиясига тенг бўлади. Куч 0

$$\text{дан } x \text{ гача чизиқли ўзгарса, унинг ўртача қиймати } F_{y_{pt}} = \frac{kx}{2}$$

га тенг бўлади, бажарилган иш эса  $A = \frac{kx^2}{2}$  га тенг бўлади.

Демак, тебранишларнинг потенциал энергиясининг оний қиймати силжиш квадратига тенг:  $W_p = \frac{kx^2}{2}$ .

У ҳолда тебрангичнинг энг катта потенциал энергияси силжиш энг катта қийматга эришган вазиятга тўғри келади

$$W_{\text{pmak}} = \frac{kx_m^2}{2}.$$

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 қиласиз.

Тенгламада  $X, V \times \frac{m}{k}$  ва  $X_m$  тўғри бурчакли учбурчакнинг катетлари ва гипотенузаси бўлганлиги сабабли

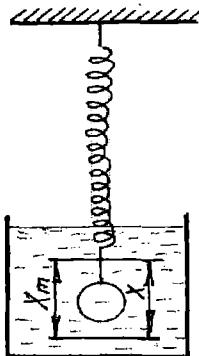
$$X = X_m \sin \alpha$$

муносабатни ёзиш мумкин

## 62 -§. МАЖБУРИЙ ТЕБРАНИШЛАР. РЕЗОНАНС ҲОДИСАСИ

Амалда содир бўладиган хусусий тебранишлар асосан сўнувчи тебранишлардан иборат бўлади, чунки тебраниш жараёнида тебрангичдаги энергия ишқаланиш кучини ва мухитнинг қаршилик кучини ечишга 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, дасттоҳ қобигининг титтраши мажбурий тебранишлардир. Мажбурий тебранишларда частота ташқи таъсир частотаси билан аниқлангани учун хусусий тебранишлarda тебрангичнинг хусусиятидан частота аниқланади. Тебрангичга таъсир этувчи ташқи ўзгарувчан даврий куч **мажбуровчи куч** деб аталади. Мажбурий тебраниш частотаси ва даври мажбуровчи кучнинг частотаси ва даврига тенг бўлади. Мажбуровчи кучнинг берилган частотасида мажбурий тебранишлар амплитудаси, ҳатто тизимга мажбуровчи кучдан бошқа ишқаланиш кучи таъсир этган ҳолда ҳам ўзгармайди. Ишқаланишни енгиш учун сарфланган энергия мажбуровчи куч томонидан бажарилган иш ҳисобига тўлдирилади.

Фараз қиласайлик, 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  $F_{\text{арх}}$ , қаршилик кучи  $F_{\text{қар}} = -rV$ , мажбуровчи куч  $F=F_m \cos(\omega t + \alpha)$  таъсир этади. Бунда  $\omega$  — мажбуровчи кучнинг доиравий частотаси. Агар пружинага юк осилмаган бўлса, пружина чўзилмаган ҳолати 0 мувозанат вазиятни кўрсатади. Шарча осилиш билан пружина  $X_m$  статик масофага чўзилиб қолган бўлади. Бу ҳолда шарча мувозанат 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 қонуни, аниқлаймиз

$$P - k(X_{ct} + x) \quad F_{apx} - rV + F = ma$$

ёки

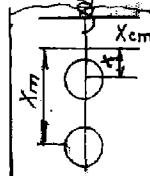
$$P - kX_{ct} - kx - F_{apx} - rV + F = ma.$$

$$\text{Биринчи уч ҳад } P - kX_{ct} - F_{apx} = 0 \text{ бўлгани учун}$$

$$F = ma + rV + kx$$

муносабатни ёзиш мумкин. Охирги тенгламани шарчанинг массасига бўлсак, тенглама кўришини қўйидагича кўринишга келади:

$$\alpha + \frac{r}{m} V + \frac{k}{m} X = \frac{F}{m} \cos(\omega t + \alpha).$$



12.11-расм.

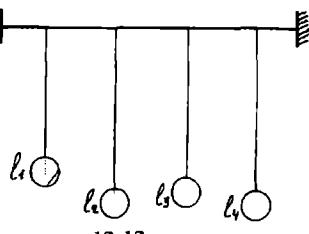
Бу тенглама пружинали тебрангичнинг мажбурий тебраниш тенгламасидир. Бу тенгламада  $\frac{k}{m} = \omega_0^2$  ва  $\frac{r}{m} = 2\delta$  деб

белгиласак, охирги  $\alpha = 2\delta V + \omega_0^2 x = \frac{F_0}{m} \cos(\omega t + \alpha)$  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 ўтирамай, мажбурий тебраниш амплитудаси ( $X_m$ ) ва фазаси ташқи кучнинг ўзгариш частотаси ( $\omega$ ) га боғлиқ равища ўзгаришини ( $\omega_0 = \text{const}$ ) қайд этамиз.

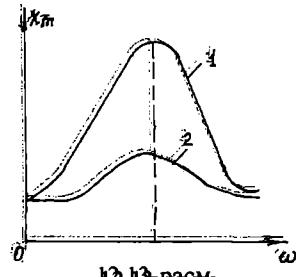
Энди эркин тебранишли тизимда мажбурий тебранишларни қандай ҳосил бўлишини кўриб чиқайлик. Фараз қилайлик, горизонтал ҳолатда маҳкамланган таёқчага ҳар хил узунликка эга бўлган математик тебрангич осилган бўлиб, уларнинг узунликлари мос равища  $l_1, l_2, l_3, l_4$  бўлсин (12.12-расм). Тебрангичларнинг иккитасини узунлиги ўзаро тенг бўлсин, яъни  $l_2 = l_4$ .



12.12-расм.

$$\text{Циклик частота } \omega_0 = \sqrt{\frac{g}{\ell}} \text{ шартдан } \omega_{02} = \omega_{04} \text{ дейиш мум-}$$

кин. Агар  $l_2$  узунликдаги тебрангични ҳаракатта келтирсак, аста-секин  $l_1$  ва  $l_2$  узунликдаги тебрангичлар тебрана бошлайди.  $l_4$  узунликдаги тебрангич эса кучли тебрана бошлайди. Тұртинги тебрангичда катта амплитудали тебранишни юзага келишига сабаб ташқи күч таъсиридаги мажбурий тебраниш частотаси  $\omega$  нинг ўзгариши әркін тебранма ҳаракат қилаётганды тебрангичларнинг хусусий  $\omega_0$  частотасига мос келиб қолишидир. Бундай ҳодисага тебранишларнинг **механик резонанс** дейилади. 12.13-расмда  $l_1$  ва  $l_2$  тебрангичлар мажбурий тебранишларыннинг амплитудаси ўзгариши күрсатылған. Расмдан күриниб турибиди, мажбурий тебранишларнинг  $\omega$  частотаси юкнинг хусусий частотаси  $\omega_0$  га яқынлашиб борган сары тебраниш амплитудавий қийматини ортиб боришига олиб келади ва  $\omega = \omega_0$  шарт бажарылғанда резонанс ҳодисаси



12.13-расм.

қозатылади. Резонанс ҳодисаси ишқаланиш күчига 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 ифодалвчи күч,  $m$  — ишқаланиш коэффициенти.

Резонанс ҳодисасини фойдали ва заарарли томонларни ҳисобга олиш керак. Айниқса техникада, халқ ҳўжалигида, 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 кўприқдан 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 ажратиласди, яъни мураккаб тебраниш таркибидаги оддий тебранишларнинг частотаси аниқланади. Бу ҳодисадан радиотехника ва ойнаи жаҳон муҳандислик ишларидекенг фойдаланилади.

Энди автотебранишлар билан танишайлик. **Автотебраниш** деб ташки манбадан олинаётган энергиянинг автоматик равишда бошқариладиган тизимларда содир бўладиган сўнмайдиган тебранишларга айтилади.

Автотебранишлар соатларда, электр кўнгироқларда, лампали генераторларда юзага келади. Тебрангичли соатни ишлаш жараёнини кўриб чиқайлик. Бундай соат тишли фидиракка эга бўлиб, унинг тишларига маҳсус шакл берилган. Фидирак ҳаракатланганда унинг тишлари маҳсус шакл-ли пластинкани гоҳ тутиб қолиб, гоҳ бўшатиб юборади. Тишли фидирак занжирга осилган юк ёрдамида ҳаракатга келтирилади. Тебрангич тебранаётганда унинг тишлари пластинкасини тутиб турган пайтда унга таъсир қилувчи кучнинг таъсир чизиги айланиш ўқи орқали ўтиб, айлантирувчи момент нолга teng бўлади. Пластинка тишдан ажралаётганда, у билан тебрангичга қисқа вақт ичida осилиб турган юк ҳосил қилган айлантирувчи момент таъсир қилиб, тебрангич энергиясини орттиради. Курилма тебрангичнинг ярим даврда йўқотган энергияси айлантирувчи момент таъсирида ўзатилган энергияга айнан teng 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 teng бўлган тебрангичнинг узунлиги топилсин.

Берилган:  $g=9,8 \text{ м/с}^2$  Ечиш. Оддий тебранишлар учун тебраниш даврини топиш формуласидан фойдала-

$$T = 1 \text{ с} \quad \text{намиз} \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad \text{дан} \quad T = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

Топиш керак:  
1 - ?

Формулани иккала томонини квадратга кўтариб, тебрангичнинг узунлигини топамиз

$$T^2 = \frac{\pi^2 l}{g} \text{ дан}$$

$$l = \frac{g T^2}{\pi^2} = \frac{9,8 \text{ м/с}^2 \times (1 \text{ с})^2}{(3,14)^2} = 0,994 \text{ м}$$

*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 аниqlansin.

Берилган:  
 $h_1 = 50$  тебраниш  
 $h_2 = 40$  тебраниш  
 Топиш керак:  
 $l_1 | l_2 - ?$

Тебранишлар вақти teng бўлганлиги учун ушбу муносабатни ёзиш мумкин

$$T_1 h_1 = T_2 h_2$$

Биринчи тебрангичнинг тебраниш вақтини:  $t = T_1 h_1$   
 Иккинчисиники mos равища  $t = T_2 h_2$  бўлади.

Тебранишлар вақти teng бўлганлиги учун ушбу муносабатни ёзиш мумкин

$$T_1 h_1 = T_2 h_2$$

Тебраниш даври формуласини қўллаймиз.

$2\pi h_1 \sqrt{\frac{l_1}{g}} = 2\pi h_2 \sqrt{\frac{l_2}{g}}$  дан  $l_1 n_1^2 = l_2 n_2^2$  ни топамиз.

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{h_2^2}{h_1^2} = \frac{(40)^2}{(50)^2} = \frac{16}{25}$$

Жағоб.  $\frac{l_1}{l_2} = \frac{16}{25}$ .

3-масала. Бир жойда турған икки төбрангичдан биттаси бир хил вақт давомида 10 марта, иккінчиси 6 марта төбранса ва уларнинг узунликлари 0,1 м га фарқ қылған бўлса, ҳар бир төбрангичнинг узунликлари аниқлансин.

Берилган: Ечиш. Төбрангичнинг тебраниш вақтлари

$$n_1 = 10 \quad | \quad \text{мос равишда } t = T_1 n_1$$

$$n_2 = 6 \quad | \quad t = T_2 n_2 \text{ бўлади.}$$

$$l_1 - l_2 = 0,1 \text{ м}$$

Топиш керак:

$$l_1 - ? \quad l_2 - ?$$

Вақтлар тенглигидан  $T_2 n_2 = T_1 n_1$  ни ёзиш мумкин. Бундан

$2\pi n_1 \sqrt{\frac{l_1}{g}} = 2\pi n_2 \sqrt{\frac{l_2}{g}}$  келиб чиқади.

$$n_1^2 l_1 = h^2 l_2 \quad \text{дан} \quad \frac{l_1}{l_2} = \frac{n_2^2}{n_1^2}.$$

Тизим тузамиз:  $\begin{cases} l_2 - l_1 = 0,1 \\ \frac{l_1}{l_2} = \frac{h_2^2}{h_1^2} \end{cases}$  дан

$$\frac{l_1}{0,1 + l_1} = \frac{h_2^2}{h_1^2}, l_1 h_1^2 = (0,1 + l_1) h_2^2$$

$$l_1 h_2^2 = 0,1 h_2^2 + l_1 h_2^2, l_1 (h_1^2 - h_2^2) = 0,1 h_2^2, l_1 = \frac{0,1 h_2^2}{h_1^2 - h_2^2} = \frac{0,1 \times 36}{100 \times 36} = 0,056$$

$$l_1 = 0,1 \text{ м} + l_1 = 0,1 \text{ м} + 0,056 \text{ м} = 0,156 \text{ м}$$

$$l_2 = 0,1 \text{ м} + l_1 = 0,1 \text{ м} + 0,056 \text{ м} = 0,156 \text{ м}$$

**Жавоб.**  $l_1 = 0,056 \text{ м}; l_2 = 0,156 \text{ м}.$

**4-масала.** Бикрлиги  $75 \text{ Н/м}$  бўлган пружинага осилган юк  $t=6$  секунд давомида  $h= 10$  марта тебранса, пружинага осилган юкнинг массасини топинг.

Берилган: $k = 75 \text{ Н/м}$ $h = 10$ $t = 6 \text{ с}$	Ечиш. Пружинага юк осилганда, деформация натижасида тизим тебранади, у ҳолда тизимнинг тебраниш частотаси бирлик ва масса орқали қуидагича  Топиш керак: $m = ?$
--	---

Шунингдек, циклик частота тебраниш даври билан боғланган бўлади. Тебраниш даврини циклик частота билан боғланишини топайлик

$$\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 = W_0^2 = \frac{k}{m} \text{ ва } T = \frac{t}{h} \text{ дан } m = \frac{T^2 k}{2\pi^2} = \frac{\frac{t^2 k}{h^2}}{2\pi^2} = \frac{t^2 k}{2\pi^2 h^2} \text{ бўлади.}$$

$$m = \frac{6^2 c^2 \times 75 H / M}{2 \times (3,14)^2 \times 10^2} = \frac{36 c^2 \times 75 H / M}{2 \times 9,856 \times 100} = \frac{18 \times \kappa_{\Gamma} \times M c^2}{9,8} = \frac{27}{19,6} \kappa_{\Gamma} = 2,7$$

**Жавоб.**  $m=2,7 \text{ кг}$

**5-масала.** Соат тебрангичи ерда  $1 \text{ с}$  да  $1 \text{ марта}$  тебранади. Шу соат ер сиртидан маълум бир баландликда  $10$  соат вакт мобайнида ер сиртига нисбатан  $3 \text{ с}$  орқада қолагн бўлса, соат қандай баландликда жойлашган?

Берилган: $\Delta t = 3 \text{ с}$	Ечиш. Тебрангичнинг ер сиртида ва $h$ баландликдаги тебраниш даврлари мос равишида $T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{l_1}{g_1}}$ ва $T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{l_2}{g_2}}$ бўлади.
---------------------------------------	---

$$R_{cp} = 6400 \text{ км}$$

$$t = 10 \text{ 3600 с}$$

Топиш керак: |  
h-?

Ер сиртидаги эркин тушиш тезланиши  $g_1 = G \frac{M}{R^2}$ , ер сиртидан баландликка эса  $g_2 = G \frac{M}{(R+h)^2}$  бўлади.

$\frac{g_2}{g_1} = \frac{G \frac{M}{(R+h)^2}}{G \frac{M}{R^2}} = \frac{R^2}{(R+h)^2}$  тебраниш даврларининг нисбати

$\frac{T_1}{T_2} = \sqrt{\frac{g_2}{g_1}}$     $\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{g_2}{g_1}$  десак,    $\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{R^2}{(R+h)^2}$     $\frac{T_1}{T_2} = \frac{R}{R+h}$  бўлади.  
 $T_1 h_1 + T_1 R_1 = T_2 R$  тебраниш даврининг фарқи  $T_2 - T_1 = \Delta T$  десак,  $\Delta T = \frac{T_1 h}{R}$  келиб чиқади.

Ер сиртида  $t$  вақтда тебранишлар сони  $h$  га  $t = hT_1$  бўлиб, икки ҳол учун  $\Delta T = h\Delta T$  ни ёзиш мумкин.  $\Delta T = \frac{T_1 h^1}{R}$  ни

тебраниш сони  $h$  га кўпайтирсак,  $\Delta T \times h = \frac{T_1 h \times n}{R} = \Delta t$  келиб чи-

қади.  $T = T_1 n$  ни ҳисобга олсак вақт фарқини  $\Delta t = \frac{t \times h}{R}$  дан топамиз.

Охирги формуладан  $h = \frac{R \times \Delta t}{t}$  баландлик топилади.

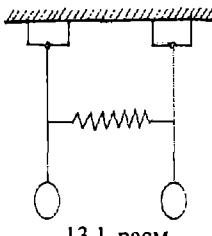
$$h = \frac{6400 \times 10^3 \text{ м} \times 3c}{10 \times 3600c} = \frac{192 \times 10^2}{36} \text{ м} = 533 \text{ м}$$

Жавоб.  $h = 533$  м.

## 63-§. МЕХАНИК ТҮЛҚИНЛАР. ТҮЛҚИН ТУРЛАРИ

Биз шу вақтгача моддий нүкта ёки жисм тебранишлари-ни ўрганишда битта координатани аниқлаш билан кифоя-ландик. Амалда бир вақтнинг ўзида ўзаро боғланган бир неча жисмларнинг тебранишини ўрганишга түфри 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 парци-ал тизимлар деб юритилади. Фараз қиласлилек, енгил пружина орқали боғланган иккита бир хил теб-рангичдан 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 ора-да иккинчи тебрангич ҳам тебрана бош-лайди, чунки пружина гоҳ чўзилиб, гоҳ сиқилиб, иккинчи тебрангични ҳам тебрантиради. Бунда биринчи берилган энергия аста-секин иккинчи тебрангични тебрантириш учун сарф бўлади. Натижада биринчи тебран-гич тебранишлари амплитудаси камайиб, иккинчи тебран-гичники эса ортиб боради.

Маълум вақтдан сўнг биринчи тебрангич бутунлай тўхтаб, иккинчиси энг катта амплитуда билан тебрана бошлайди. Иш-қаланишни енгишга сарфланадиган энергия жуда оз бўлганда мазкур амплитуда тахминан биринчи тебрангичнинг бош-лангич пайтдаги амплитудасига тенг бўлади, сўнгра эса теб-рангичларнинг тебраниш жараёни алмашади ва жараён дав-рий равишда тақрорланади. Тебрангичларнинг оғишлари бир



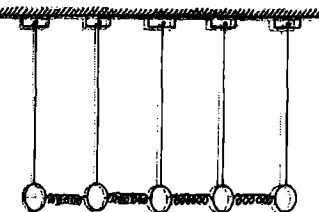
13.1-расм.

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.

Агар тебрангичлар қарама-қарши томонга бир хил бурчакка оғдириб кўйиб 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 алмашмайди тебранади. Богланган тизимларда алоҳида тизимлар сони п та бўлса, бу ҳолда ҳам тебраниш жараёни юқоридагидек амалга ошади, аммо уларнинг частотаси  $h$  хил бўлади (13.2-расм). Богланган тизимнинг тебраниш частотаси U тизимнинг ўлчамларига, зичлигига ва материалларининг эластик хусусиятларига боғлиқ бўлади.

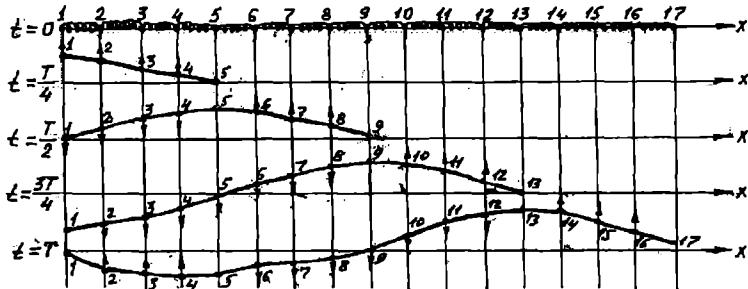
Тебранишларнинг мұхитда тарқалиш жараёни **тўлқин** деб аталади. Физикада ҳар хил табиатта эга бўлган механик, электромагнит ва бошқа турдаги тўлқинлар билан иш кўрилади. Аммо уларнинг тарқалиш қонуниятлари кўп жиҳатдан бир хил бўлганлиги сабабли уларни механик тўлқин деб ҳисоблаш мумкин. Бу тўлқинлардаги тебранишларнинг тарқалиши қаттиқ, суюқ ва газ ҳолатидаги мұхит заррачалари ўзаро таъсирининг натижасидир. Мұхит заррачалари орасидаги ўзаро таъсир тебранишларни узатиш пайтида вужудга келадиган эластиклик кучлари орқали амалга оширилса, тўлқин эластик тўлқин деб аталади. Товуш, ултратовуш ва сейсмик тўлқинлар эластик тўлқинлардир. Механик тўлқинлар бўйлама ва кўндаланг тўлқинларга бўлинади. 13.3-расмда кўндаланг тўлқиннинг тарқалиш схемаси кўрсатилган.

Тасвирда эластик мұхитда тарқалаётган тўлқинлар учун бир-биридан чорак даврга ( $\frac{T}{4}$ ) фарқ қиласидиган бешта ҳолат кўрсатилган. Кўрсаткичлар билан заррачаларнинг ҳаракат йўналиши белгиланган пайтда барча заррачалар (нуқталар)



13.2-расм.

мувозанат ҳолатида бўлади. Бошлангич вақт моментида биринчи заррага импульс берилса, бу заррача кўшни зарраларга таъсири этади. Натижада аста-секин кўшни заррачалар ҳам тебранма ҳаракат қиласи. Кўшни 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, чукурчалар ва чўққилардан иборат тўлқинни ҳосил қиласи.



13.3-расм.

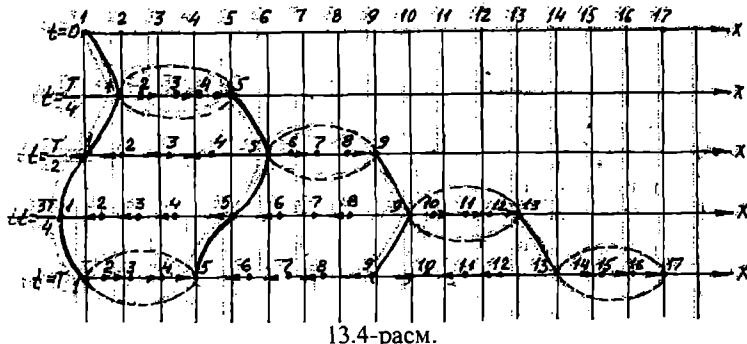
Муҳитнинг заррачалари тўлқин билан бирга кўчмайди, балки муайян  $T$  давр билан мувозанат ҳолати атрофида тебранади. Кўндаланг тўлқин деб муҳит заррачаларининг тўлқин тарқалиш йўналишига перпендикуляр йўналишда тебранишига айтилади.

Энди бўйлама тўлқиннинг бўлишини кўриб чиқайлик.

13.4-расмда бўйлама тўлқиннинг тарқалиш жараёни тасвирланган. Бундай тўлқин навбатлашиб келадиган сиқилиш ва сийракланишдан иборат бўлиб, улар тўлқин тарқалиши йўналишида ҳаракатланади.

Расмдан кўриниб турибдики,  $t=0$  вақт моментида барча заррачалар мувозанат ҳолатида бўлади. Биринчи заррачага импульс берилиши билан чорак давр ичиди ( $t=T/4$ ) бошлангич вақт моментига нисбатан биринчи зарранинг тебранма ҳаракат тезлиги бешинчи заррачага етиб қолади, аммо бешинчи заррача бу вақтда тинч ҳолатини сақлайди. Бу вақт биринчи заррача амплитуда қийматига teng микдорда ўнгта 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 сақлайди, биринчи заррача мувозанат ҳолатга қайтган бўлади, бешинчи заррача эса амплитуда қийматига тенг масофага ўнгга силжиган бўлади. Биринчи ва бешинчи заррачалар орасида сийраклашиш (чўзилиш) оралифи 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 диформацияси орқали тўлқин ҳосил қилинади. Бундай тўлқинлар фақат қаттиқ жисмларда ва суюқлик сиртида вужудга келади.

Бўйлама тўлқинларда муҳит қатламлари навбат билан зичлашиб сийраклашади, натижада муҳитнинг ҳажми ўзгаради. Бундай хусусияти қаттиқ жисмлар, суюқлик ва газларга хосдир. Демак, бўйлама тўлқинлар қаттиқ жисмлар, суюқлик ва газларда тарқалиши мумкин.

## 64-§. МЕХАНИК ТЎЛҚИНЛАРНИНГ ТАФСИВЛОВЧИ КАТТАЛИКЛАРИ

Тўлқинлар фазо ва вақтда даврий равишда такрорланиб турувчи ҳаракат хусусиятига эга бўлганлиги учун кўндаланг

түлқиннинг фазасини аниқлайлик. Фараз қилайлик, кўндаланг түлқин заррачалари расмда кўрсатилганидек ОХ йўналишда тебранаётган бўлсин (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 ўринлидир, чунки бу нуқталарда тебраниш фазалари бир хил бўлади, яъни  $\alpha_0 = \alpha_2$ . 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 кўйидаги 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 6,6 ва 8 нуқталарининг тебраниши мос келади.

Агар икки заррача тебраниш вақтида мувозанатлик ҳолатидан бир вақтда ўтмаса, уларнинг фазалари силжиши 0 ва  $180^\circ$  га teng бўлмайди.

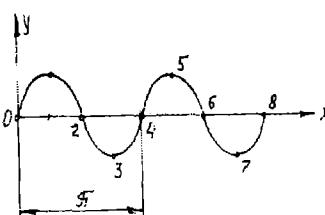
Тўлиқ давр деб муҳитда тарқалаётган түлқин заррачининг бир марта тебраниши учун кетган вақтга айтилади ва т ҳарфи билан белгиланади.

Тўлқин частотаси деб тўлқин даврига тескари пропорционал бўлган ва  $1c$  давомида тўлқин тебранишлар сонини ифодаловчи катталикка айтилади. Частотаси  $\nu$  (ню) ҳарфи билан белгиланади, яъни

$$\nu = \frac{1}{T}$$

Бир тўлқин даври ичida 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 тезлиқда тарқалади, демак, тўлқин ўтган йўлнинг унинг шу йўлни ўтган вақтига нисбати билан ўлчанадиган катталик тўлқин ҳаракатининг тарқалиш тезлиги деб аталади. Агар дав-



13.5-расм.

рга тенг  $T$  вақт ва түлкін узунлигига тенг  $\lambda$  йўл олинса,

$$V = \frac{\lambda}{T} \text{ бўлади.}$$

Агар  $T = \frac{1}{\nu}$  ни ҳисобга олсак, у ҳолда тарқалиш тезлиги

$$V = \lambda\nu \text{ бўлади.}$$

Түлкін тарқалиш тезлиги түлкін фазасининг фазодаги силжишини аниқлагани учун фазавий тезлик деб аталади. Масалан, кўндаланг түлкінларда чуқурча ва чуқурликларнинг, бўйлама түлкінларда сиқилиш ва сийракланишнинг ҳосил бўлиши.

Түлкіннинг тарқалиш тезлиги паст частоталарда тебраниш частоталарига эмас, балки муҳитнинг хоссаси ва хусусиятига боғлиқ бўлади.

Бўйлама түлкіннинг 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 түлкіннинг 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 түлкіннинг тарқалиш тезлиги

$$V_k = \sqrt{\frac{F}{m_0}}$$

формуладан топилади. Бу формулада  $F$  — таранглик кучи,  $m_0$  — узунлик бирлигидаги масса.

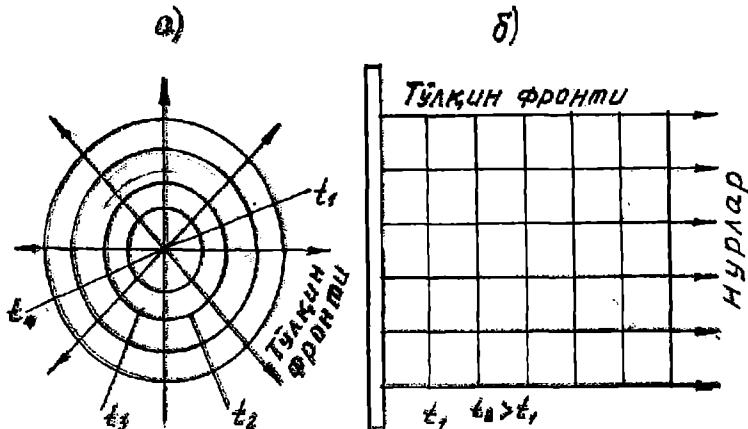
Агар түлкін бир муҳитдан иккинчи муҳитга ўтса, частота ўзгармайди, түлкіннинг тарқалиш тезлиги муҳитга боғлиқ бўлгани учун түлкін бир хил ўзгаради.

## 65-§. БИР ЖИНСЛИ ЭЛАСТИК МУХИТДА ТҮЛҚИН ТАРҚАЛИШИ

Агар түлқин манбай бир жинсли изотроп эластик мұхитда жойлашған бўлса, у ҳолда манбадан чиқаётган түлқин фазода ҳамма йўналиш бўйича тарқалади ва маълум бир фазада тебранади. Худди шунингдек, бирлик вақт оралиғида тебранишда иштирок этәётган барча заррачалар ҳам бир хил фазада тебраниб, түлқин ҳосил қиласиди. Муайян вақтда бир хил фазада тебранаётган заррачалар ҳосил қилған сирт **түлқин фронти** дейилади. Түлқин тарқалиши йўналишини белгилайдиган чизиқлар нур деб аталади. Түлқин фронтининг шаклига қараб сферик ёки ясси түлқин кўринишида бўлади. 13.6-расмда сферик ва ясси түлқин фронти кўрсатилган.

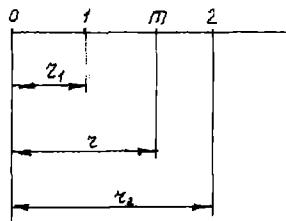
Түлқин манбаидан узоқ бўлган нуқталарда сферик түлқин фронтининг унча катта бўлмаган қисми амалда ясси бўлади. Бунда барча нурлар ўзаро параллел бўлиб, түлқиннинг мазкур қисми **ясси түлқин** деб аталади. Чекланмаган мұхитда хеч қандай тўсиққа учрамай тарқалаётган түлқин **югурувчи түлқин** деб аталади.

Фараз қиласлик, ясси түлқин гармоник қонуният бўйича тебранаётган бўлсин, яъни  $X = X_m \cos \omega t$  кўринишида ёзамиш. Бу ерда  $X$  — зарранинг мұхитда силжиши,  $X_m$  — тебраниш амплитудаси,  $\omega = 2\pi\nu$  — цикл частотаси,  $t$  — тебраниш вақти.



13.6-расм.

Айтайлик, М нүктадаги заррача түлкін манбайдан г масофада жойлашган бұлсін (13.7-расм). Түлкіннің тарқалиш тезлигі чекли бўлғанглиги учун манбадан тарқалаётган ҳар бир заррачанинг тебраниши М нүктага етиб келгунча маълум бир да-



13.7-расм.

қиқага кечикади, яъни  $t_k = \frac{r}{V}$ . М

нүктадаги заррачанинг тебраниш вақти эса  $t - t_k = t - \frac{r}{V}$  қийматта тенг бўлади. У ҳолда гармоник тебранма ҳаракат учун қуидаги муносабатни ёзиш мумкин:

$$X = X_m \cos W \left( t - \frac{r}{V} \right).$$

Бу тенглама ясси югурувчи түлкін тенгламаси дейилади.

Бу ҳолда түлкін фазаси  $\alpha = W \left( t - \frac{r}{V} \right) = 2\pi\nu \left( t - \frac{r}{V} \right)$  бўлади.

Фараз этайлик, 0 нүктада жойлашган манбага нисбатан 1 ва 2 нүктадаги заррачалар мос равишда  $r_1$  ва  $r_2$  масофага орқада қолаётган бўлсін. Улар орасидаги масофа ва

$r_2 = r_2 - r_1$  нүктадаги заррача фазаси  $\alpha_1 = W \left( t - \frac{r_1}{V} \right)$  ва 2 нүкта-

дагиси учун  $\alpha_2 = W \left( t - \frac{r_2}{V} \right)$  бўлади. Бу нүктадаги заррача-

ларнинг фазалар бўйича силжиши эса  $\alpha_1 - \alpha_2 = W \frac{r_2 - r_1}{V}$ .

Тўлкін узуғлиги  $\lambda$  ни хисобга олсак, шунингдек, заррачалар бир хил фазада тебранса, фазалар силжиши  $\alpha_1 - \alpha_2 = 2\pi$

бўлгани учун  $\lambda = r_2 - r_1$  бўлади, демак,  $2\pi = \frac{\nu \times \lambda}{V}$  дейиш мум-

кин. Түлқин тарқалиш тезлиги  $V = \lambda\nu = \frac{\lambda}{T}$  ва  $W=2\pi\nu$  дан түлқин тенгламаси

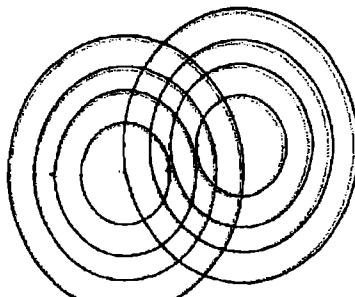
$$X = X_m \cos 2\pi\nu \left( t - \frac{r}{\lambda\nu} \right) \text{ ёки } X = X_m \cos 2\pi \left( \nu t - \frac{r}{\lambda} \right).$$

## 66-§. ТҮЛҚИН ИНТЕРФЕРЕНЦИЯСИ ВА ДИФРАКЦИЯСИ

Маълумки, түлқин мустақиллик қонуниятига бўйсунган ҳолда тарқалиб, бошқа тарқалаётган түлқинларга таъсир этмайди. Масалан, ҳовузга ташланган иккита тош ҳосил қилган түлқинларнинг сув сиртида тарқалишини кузатиб, бунга ишонч ҳосил қилиш мумкин. Бунда бир-бира билан кесишадиган ҳалқасимон түлқинлар маркази тош ташланган нуқтада жойлашган айланалар тарзидаги тарқалиб, бир манба ҳосил қилган түлқиннинг тарқалишига иккинчи манба ҳеч қандай таъсир қилмайди.

Түлқинлар суперпозицияси (қўшилиш) принципига қўра, муҳит заррачаларининг ихтиёрий пайтдаги силжиши уларнинг алоҳида түлқинлар туфайли олган силжишларининг геометрик йиғиндисига teng.

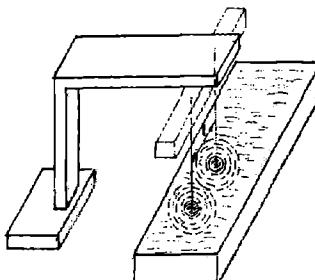
Бу принципни биринчи марта итальян олимни мусавири Леонардо да Винчи сувга иккита тошни ташлаш орқали аниқлаган (13.8-расм).



13.8-расм.

Агар бир жинсли мұхитта тарқалаётган иккита түлқиннинг частоталари бир хил, фазалари ҳам бир хил ёки фазалари фақат доимий бўлса, бундай түлқинлар **когерент түлқин** бўлади. Когерент түлқинларни ҳосил қўилувчи манбалар эса когерент манбалар деб аталади.

Когерент түлқин ва когерент манба тушунчаси мавхум тушунча. Одатда когерент манбаларни ҳосил қилиш муайян шароитга боғлиқ. Когерент манбаларни, масалан, горизонтал жойлашган пружинага осиб қўйилган икки тик сим ёрдамида ҳосил қилиш мумкин (13.9-расм). Симларни қисман тебратиб, идишдаги сув сиртига теккизисиб қўйилса, иккита манбадан чиқиб тарқалаётган ва бир-бирига қўшилаётган, деярли когерент бўлган түлқинларни кузатиш мумкин.

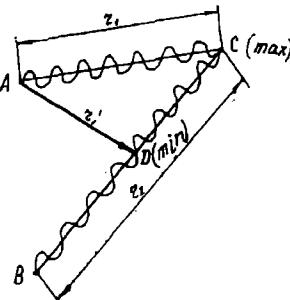


13.9-расм.

Агар: 1) симлар орасидаги масофа улар томонидан ҳосил қилинган түлқин узунлигидан катта бўлса, яъни  $r > 1$  түлқинлар қўшилиб тебраниш кучаяди; 2) аксинча  $r < 1$  да сусаяди.

Амалда түлқинларнинг сусайиши ва қўшилиши натижасида тебранишлар кучайиши кузатилади. Бунда зарралар алоҳида түлқинлар туфайли силжиб қўшилиб, мұхит заррачаларини тебраниш амплитуда даврий равишда фазовий тақсимлайди, натижада тебранишнинг амплитудалари энг катта ва энг кичик қийматта эришади. Бу ҳолат навбатлашиб, интерференция манзараси кузатиласи. Турғун фазовий интерференция манзарасини юзага келтирувчи түлқинларнинг қўшилиш ҳодисаси түлқинлар **интерференцияси** деб аталади.

Фараз қилайлик, бир жинсли мұхиттада иккита А ва В когерент манбалардан бир фазали түлқинлар тарқалаётган бўлсин (13.10-расм). Бу түлқинларнинг түлқин узунликлари бир бўлганлиги сабабли уларнинг тарқалиш тезликлари мос равишида  $V_1 = \lambda_1 v_1$  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 манбадан 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

$$X_1 = X_{m1} \cos 2\pi \left( vt - \frac{r_1}{\lambda} \right) = X_{m2} \cos \alpha_1,$$

иккинчиси учун

$$X_2 = X_m \cos 2\pi \left( vt - \frac{r_2}{\lambda} \right) = X_{m2} \cos \alpha_2$$

тенгламаларни ёзиш мумкин.

Фазалар силжиши эса

$$\alpha_1 - \alpha_2 = 2\pi \left( vt - \frac{r_1}{\lambda} - vt + \frac{r_2}{\lambda} \right) = 2\pi \frac{r_2 - r_1}{\lambda} = 2\pi \frac{\Delta r}{\lambda}$$

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  $\alpha_1 - \alpha_2 = 2n\pi$  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 сусайди ва интерференция энг кичик қийматга эришади.

Демак, икки когерент тўлқиннинг геометрик йўллар фарқи бир жинсли муҳитнинг ўзаро учрашув нуқтасида жуфт

сонли ярим бутун түлкүн сонига тенг бўлса, интерференция энг катта (максимум) қийматга эришади, аксинча, тоқ сонли ярим бутун сонига тенг бўлса, интерференция энг кичик (минимум) қийматга эришади, 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 квадратига тўғри пропорционал бўлади

$$X_{m1} = X_{m2} = X_m, \text{ демак, } W = X^2.$$

Энг катта қиймат учун  $X_{mk} = X_{m1} + X_{m2} = 2X_m$  бўлиб, бу ерда  $X_{mk}$  — йигинли амплитуда.  $W_{max} = 4X_m^2$  га асосан интерференциянинг энг катта қийматида энергия тўлкун энергиясининг тўртланганига тенг экан, яъни

$$W_{max} = 4W.$$

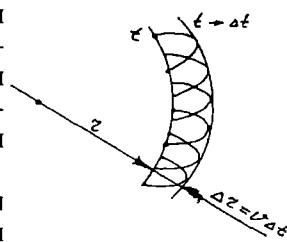
Энг кичик қийматда эса  $X_{mk} = X_{m1} - X_{m2} = 0$  бўлиб,  $W_{max} = 0$  бўлади ва тебраниш сўнади.

Энди тўлкун дифракцияси ҳодисасини аниқлайлик. 1690 йил голландиялик физик олим Гюйгенс биринчи бўлиб тўлкун тарқалиш жараёнининг умумий принципини баён этди.

Гюйгенс принципи: айни моментда тўлкун етиб келган сиртдаги ҳар бир нуқта иккиласми элементар тўлкунлар маркази бўлади, уларнинг токи ўровчиси келгуси вақт моментидаги тўлкунли сирт бўлади. Бошқачароқ таърифласак, тўлкун фронти етиб борган фазонинг ҳар бир нуқтасини янги тўлкун манбай дейиш мумкин.

Агар вақтнинг  $t$  моментида тўлкун фронти ва унинг тарқалиш тезлиги  $V$  маълум бўлса,  $t + \Delta t$  моментидаги тўлкун фронтини аниқлаш учун шу тўлкун фронтининг исталган нуқтасини янги тўлкун манбай деб қараш керак.

Фараз қилайлик, бир жинсли муҳитда сферик тўлкун тарқалаётган бўлсин (13.11-раем). Тўлкун сиртининг

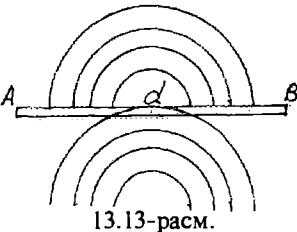


13.11-расм.

расм текислигидаги күриниши г радиусли айлана сиртидан иборатдир. Вақтнинг  $t$  моментидаги түлқин фронти I ҳолатда бўлсин. Гюйгенс принципига биноан түлқин фронтининг ҳар бир нуқтасини иккиламчи манба деб ҳисобласақ,  $\Delta t$  вақтдан сўнг иккиламчи түлқин масофага етиб келади. Янги манба атрофифида ихтиёрий радиусли ярим ҳалқалар чизиб, бу ҳалқаларга уринма сирт ўтказиб, түлқин фронтиниг  $t + \Delta t$  вақт моментидаги янги 2 түлқин фронтини ҳосил қиласиз. Мухит бир жинсли бўлганилиги сабабли бу түлқин фронтининг айлана радиуси  $r + \Delta r$  га тенг бўлади, демак, иккиламчи түлқин сирт сферадан иборат экан. Агар ясси түлқин бир жинсли мухитда тарқалаётган бўлса, түлқиннинг исталган моментидаги түлқин фронти ҳам ясси бўлади (13.12-расм).

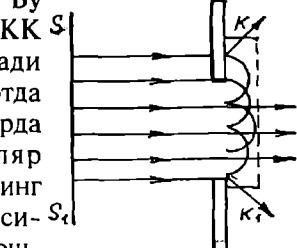
13.12-расм.

Энди Гюйгенс принципининг моҳиятини аниқлашга киришамиз. Бунинг учун сув сиртида тарқалаётган ихтиёрий шаклдаги түлқинлар йўлига кичик "d" тирқишли AB тўсиқ қўямиз. Тирқиш ўлчами тарқалаётган түлқин узунлиги  $\lambda > d$ . Түлқин тўсиққа етиб келиб, ундан қайтади. Тирқиш эса янги түлқин манбайи бўлиб қолади. Тўсиққача келган түлқин шакли қандай бўлса ҳам,  $d$  тирқишидан ярим ой шаклида к түлқинлар тарқалади. Гюйгенс принципининг асл моҳияти ана шундай.



13.13-расм.

Энди ясси түлқин йўлига  $d \geq \lambda$  бўлган тирқиши қўямиз (13.13-расм).  $d$  тирқишининг ҳар бир нуқтасини янги түлқин манбайи деб, ҳар бир нуқта атрофифида ярим сферик элементар түлқин фронтларини чизамиз. Бу элементар фронтларни ўраб олган KK' фронт янги түлқин фронти бўлади (13.14-расм). Янги фронт  $d > \lambda$  шартда қисмда ясси бўлиб, четки қисмларда йўналиш тўсиққа перпендикуляр бўлмай йўналиши ўзгаради. Тўлқиннинг ўз йўналишини ўзгартириш ҳодисаси-га **дифракция** ҳодисаси дейилади. Бошқача айтганда, тўлқинларнинг тарқа-

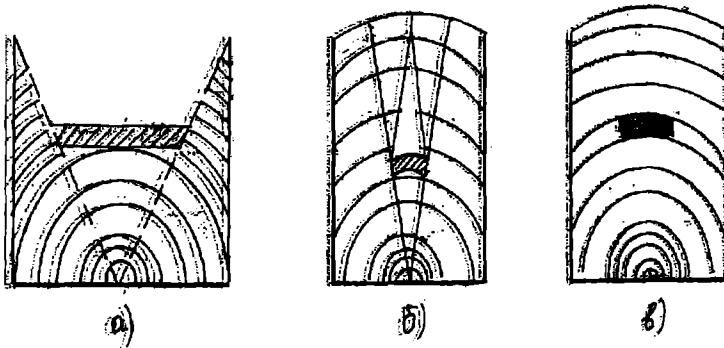


13.14-расм.

лишида түгри чизиқлардан оғиш, уларнинг тўсиқларни айланниб ўтиб геометрик соя томонига тарқалишига **дифракция ҳодисаси** дейилади.

Дифракция ҳодисасини кузатишида қуидаги ҳоллар бўлади:

1. Агар  $d > \lambda$  бўлган ҳолда, яъни тўсиқнинг ўлчами тўлиқ узунлигидан жуда катта бўлса, тўсиқнинг тиник сояси ҳосил бўлиб, тўлқин тўсиқни айланниб 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, гёёки тўлқин йўлида ҳеч қандай тўсиқ бўлмагандек тарқалади (13.15-расм, в).



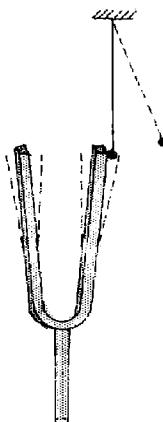
13.15-расм.

Гюйгенс принципига асосан дифракция ҳодисасини тўлиқ тушунтириб бериб бўлмайди. XIX асрнинг бошларига келиб француз олимни Френель Гюйгенс принципини тўлдириб, дифракция ҳодисасининг моҳиятини очиб беришга имкон берди. Френель гоясига биноан, тўлқин сирт исталган вақт моментида иккаламчи тўлқинлар ўровчисидангина иборат бўлмай, балки уларнинг интерференцияланиш натижасидан ташкил топади. Бунда иккинчи тўлқинлар когерент тўлқинлар ҳисобланади. Иккиминчада 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.

## 67-§. АКУСТИКА ЭЛЕМЕНТЛАРИ. ТОВУШ ТҮЛҚИНИ

Товуш деганда эластик мұхит зарралари тебранишларининг мұхит бўйлаб тўлқин сифатида тарқалиши тушунилади. Киши қулоги одатда 16 дан 20000 Гц гача частотадаги тўлқинларни сезади. Бундай частотали тўлқинлар **тovуш тўлқинлари** деб аталади. 16 Гц дан кичик бўлган частотали тўлқинлар инфратовушлар, 20000 Гц дан катта частотали тўлқинлар эса **ултрапотовушлар** 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 болғача билан ўрамиз (14.1-расм). Камертон товуш чиқара бошлайди. Агар камертон шохи ёнига ипга осилган шарчани олиб келсак, ҳар сафар камертонга шарча тегиши билан шарча ундан сапчиди. Камертон тинч турса, унга тегиб турган шарча ҳам ҳаракатсиз бўлади. Тебранувчи жисм атрофидаги ҳавони ҳаракатга келтириб, атрофга тўлқин тарқатади. Бу тўлқинлар одам қулоғига этиб борганди, қулоқнинг ички пардасини тебрантириб товушни эшишишга имкон беради. Товуш мавжудлигини қулоқка таъсир этиб сезидирадиган механик тўлқинлар **тovуш тўлқинлари** деб аталади. Товушни сезишимиз учун механик тебранишлар манбаининг ўзи етарли эмас. Буни қуйи-даги тажрибадан осонгина аниқлаш мумкин. Шиша қалпоқ остига қўнғироқ жой-



14.1-расм.

лаштириб, сўнгра ҳавоси сўриб олинса, товуш эшилмайди, демак, товуш тарқалиши учун эластик мұхитнинг бўлиши шарт экан, чунки ҳавосиз фазода бўлган кўнгироқ ўз энергиясини атроф-мухитга бера олмайди.

Биз товуш мавжудлигини сезишимиз учун қуидаги шартларни ҳисобга олишимиз керак:

1. Товуш манбаи мавжуд бўлиши.
2. Товуш манбаи билан қулоқ ўртасида эластик мұхит бўлиши.
3. Товуш манбаининг частотаси 16-20000 Гц оралиғида бўлиши.
4. Эшилувчи товушни ҳосил қилиш учун тўлқиннинг куввати етарли бўлиши керак.

Товуш тўлқиндан иборат бўлгани учун унинг тарқалиш тезлиги шу мұхитнинг хусусиятига боғлиқ бўлади.

Масалан, узоқда турган мусиқа асбобини чалаётган одамни ахтарамиз, сўнгра мусиқани эшиламиз. Бунда мусиқа чалиш вақтини, товушнинг эшилиш вақтини ва оралиқ масофани аниқлаб, товуш тезлигини аниқлаймиз. Шунга ўхшаш тажрибалар асосида товушнинг ҳавода тарқалиш тезлиги 0° ҳароратда 332 м/с, 15°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 мұхитга, моддага боғлиқ бўлади. Масалан, газларда, водородда товуш тезлиги 1250 м/с, карбонат ангидриdda эса 258 м/с, қаттиқ жисмлардан чўянда 3750 м/с бўлса, темирда 5000 м/с.

Демак, ўзгармас ҳароратда товуш тўлқинлари бир жинсли мұхитда ўзгармас тезлик билан, турли мұхитда эса турли тезликларда тарқалар экан.

Товушнинг тезлиги мұхитга боғлиқ бўлганлиги сабабли  $U = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$  формула орқали топилади, бу формулада E — Юнг модули,  $\rho$  — мұхитнинг 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 КАТТАЛИКЛАР

Кулогимиз эшитадиган товушлар одамда сифат жиҳатдан ҳар хил сезги уйғотади. Баъзи бир одамлар учун мусиқа товуши паст эштилса, бошқалар учун баланд эштилади. Одам томонидан товушнинг фарқ қиласында сифатлари бу товушнинг баландлыгы, оңан гининг юксаклиги ва тембридир.

Товушнинг баландлыги тебраниш амплитудасига боғлиқ бўлганлиги сабабли товуш интенсивлигига ҳам боғлиқ бўлади. Товуш интенсивлиги деганда бирор нуқтадаги товуш кучининг товушнинг тарқалиш йўналишига перпендикуляр жойлашган  $1 \text{ см}^2$  1с да ўтаётган энергия миқдорини тушуниш керак, унинг математик ифодаси қуйидагича:

$$J = \frac{W}{S \times t},$$

бунда,  $J$  — товуш интенсивлиги, унинг ҳалқаро бирликлар

системасидаги бирлиги  $\left[ \frac{\text{Ж}}{\text{м}^2\text{с}} = \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \right]$ . Товуш интенсивлиги

тебраниш амплитудасининг квадратига тўғри пропорционал бўлади. Шунинг учун ҳам товуш тўлқинининг амплитудаси катта бўлган товушлар одамга баландроқ туолади. Демак, товуш тебранишлари амплитудасининг ўзгариши товуш баландлигининг ўзгаришига олиб келади.

Текширишлар натижасига кўра одам қулоқларига таъсир этувчи товуш тўлқинлари етарли қувватга эга бўлганда гина одамлар қулоғи эшитади. Товуш частотаси 20000 Гц бўлганда товушни эштишимиз учун қулоқ пардасининг бирлик юзига тўғри келадиган қувват

$2 \times 10^{-12}$  Вт/м<sup>2</sup> (Ж/м<sup>2</sup>с) га тенг бўлиши керак. Бу қулоқнинг эштиш чегарасидир. Паст частотали товушларда интенсивлик катта қийматга эришади.

Турли ўлчамли камертонларни навбатма-навбат тебрантирилса, товуш оҳангларининг 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 ғадур-будур бўлган дискда қаттиқроқ, сирти майнин бўлганда кучсизроқ чиқишини сезамиз. Бунда чархланувчи жисмнинг тебраниш частотаси ўзгаряпти. 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  $V=v\lambda =332 \text{ м/с}$  эди, бундан  $v= 440 \text{ Гц}$  деб олсак,  $\lambda=0,755 \text{ м}$  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 қўнғирофининг жаранглаши, баргларнинг шитирлаши, ҳаракатланаётган поезднинг шовқини ва бошқаларни олиш мумкин.

Одамлар танишини уни кўрмасдан туриб билади. Мусиқа бўйича мутахассислар мусиқа асбобларнинг оҳангини эшишиб ажратади.

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 манбанинг асосий оҳангига нисбатан 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 манбанинг асосий оҳангни частотасига карраги бўлади.

## 69-§.ТОВУШНИНГ ҚАЙТИШИ ВА ЮТИЛИШИ. ТОВУШ РЕЗОНАНСИ

Икки мұхит чегарасига тушаётган товуш түлқинлари қисман қайтиши ва ютилиши мүмкін. Буни тажрибада аниқлаш учун шиша цилиндр идиш олиб, унинг тубига құл соатини жойлаштирамиз. Соатнинг чиқыллашини эшилтеслик учун ундан маълум масофага нари туралыз. Сүнгра цилиндр идишнинг оғзига  $45^{\circ}$  бурчак остида шиша пластинка ўрнатамыз. Натижада шиша пластинкадан қайттан товуш түлқинлари қулоққа эшитила бошлайды, бу соатнинг чиқыллашидир (14.2-расм). Табиатда товушнинг қайтиши күп кузатилади. Товуш бинолардан, қоялардан, түсікілардан ва тоғлардан қайтади.

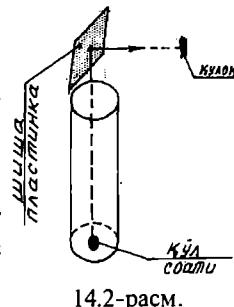
Агар товуш қайтараётган сирт товуш түлқинининг тарқалишига перпендикуляр равишда ўрнатылса, товуш түлқини манбаига қайтиб келади. Бирор ердан тарқалған товуш түлқинининг яна ўша ерга қайтиш ҳодисасига **акс салдайлади**.

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 түсікқа етиб бориб ундан қайтиб босиб ўтган йўлидир. Демак, масофа 17,2 м бўлганда асосий ва акс садо айрим-айрим эшитилади.

Айтайлик, товуш манбай А нуқтада жойлашган бўлсин. Тўсикқача бўлган масофа  $|AD| = l$  (14.3-расм). Манбадан чиққан товуш түлқини BC тўсикқа келиб, сўнгра қайтиб A нуқтага келиш учун сарфлаган вақти  $t = \frac{2l}{V}$  га тенг, у ҳолда

$$l = \frac{Vt}{2} = \frac{340 \frac{m}{c} \times 0,1 c}{2} = 17_m.$$

Демак, тўсикқача бўлган масофа 17 метр бўлиши керак экан. Хоналарнинг деворлари орасидаги масофа 17 м. дан кам



14.2-расм.

бўлганлиги сабабли асосий товуш билан акс-садо қўшилиб кетади, натижада асосий товушнинг эшитилиш вақти узайиб кетади. Ёпиқ хоналарда товуш манбаидан товуш чиқариш тўхтатилгандан кейин овоз эшитилиши **ревербера-**

**ция** дейилади. Реверберация вақти 1 с бўлганда, кичик хоналарда товуш суст бўлади.

Товуш тўлқинлари икки мұхит чегарасидан қисман қайтиш билан қисман ютилади ҳам. Бунга сабаб тўлқин ҳаракат давомида энергиясининг бир қисмини мұхитда тартибсиз ҳаракат қилаётган молекулага беришидир. Мисол учун, гилам-20 %, сувалган девор - 3,4 %, дераза ойнаси - 2,7 % атрофида тушаётган энергияни ютади.

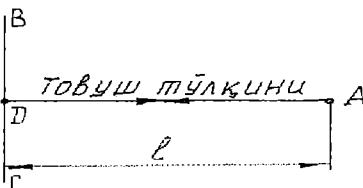
Товуш ҳодисаларида ҳам резонанс ҳодисаси кузатилади. Буни куйидаги тажриба ёрдамида кузатиш мумкин:

Шиша цилиндр идиш олиб, унга сув қуямиз. Сўнgra камертонни тебрантириб товуш чиқариб, сувли идиш устига яқинлаштирамиз, идишдаги сув сатҳини пасайтириб ёки кўтариб, товушнинг кучайиши ва сусайиши 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.

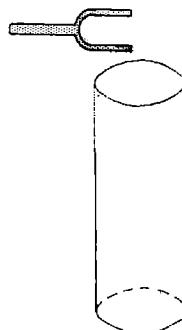
Камертондан чиқаётган товушни кучайтириш мақсадида резонанс ҳодисасидан фойдаланилади. Шу мақсадда камертон бир томони беркитилган яшикка ўрнатилади ва яшикнинг узунлиги резонанс бўладиган қилиб танлаб олинади.

## 70- §. УЛЬТРАТОВУШЛАР ВА УЛАРНИНГ ҚЎЛЛАНИЛИШИ

Частотаси 20000 Гц дан юқори бўлган товуш тўлқинлари ультратовушлар дейилади. Бу товушларни одам қулоги эши-



14.3-расм.



14.4-расм.

та олмайды. Ультратовуш ҳодисалари бошқа товуш хоссала-ридан фарқ қиласы. Ультратовушнинг хусусиятлари құйида-гилардан иборат:

1. Ультратовуш ҳавода ва газларда күчли ютилади, қат-тиқ жисм ва суюқликларда эса кам ютилади ва узоқ масо-фаларға тарқалади.

2. Ультратовушлар маълум бир йўналишда тарқалади. Маълумки, товуш тўлқинлари интенсивлиги фақат ампли-тудага боғлиқ бўлмай, тебраниш частотасига ҳам боғлиқ бўла-ди, 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 ин-тенсивлигига нисбатан юқори бўлади. Ультратовушлар асо-сий пъезосамара (тўғри ва тескари пъезосамара) ва магни-тострикция услубида қабул қилинади ва узатилади.

Ультратовушлар икки йўналишда қўлланилади:

1) физик катталикларни ўлчаш ва ҳисоблашда, бу ҳолда паст интенсивликдан фойдаланилади;

2) физик-кимёвий жараёнларни аниклашда, бу ҳолда юқори интенсивликдан фойдаланилади.

Денгиз чуқурликларини аниклаш учун эхолот деб номла-налиган асбобдан фойдаланилади. Бунинг учун кемага ультра-товуш манбаи, ультратовушларни қабул қилгач, вақтни аниқ ўлчовчи асбоб ўрнатилади. Текшириладиган денгиз тубига тик-равишида 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 горизонтга йўналишда тарқатиб, кема йўлидаги тўсиқ аниқланади. Ультратовушлар ёрдамида жисм-ларнинг нуксонлари аниқланади.

Ҳозирги пайтда ультратовушлардан медицинада кенг фойдаланилади.

# Мундарижа

<b>Муқалдима.....</b>	<b>3</b>
<b>I Боб</b>	
<b>Кириш.....</b>	<b>5</b>
1-§. Механиканинг асосий тушунчалари.....	5
2-§. Механиканинг бош масаласи. Моддий нүқта. Саноқ 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 кўшиш.....	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 йўлдошли- ри. Косметик тезликлар.....	101
30-§. Ишқаланиш кучлари. Ишқаланиш турлари. Амон- тон ва Кулон қонуни.....	105
31-§. Масала ечиш намуналари.....	111
32-§. Галилейнинг нисбий принципи.....	116
<b>VII Боб</b>	
33-§. Механикада сақланиш қонунлари.....	119
33-§. Куч ва импульс.....	119
34-§. Иимпульснинг сақланиш қонуни.....	122
35- §. Реактив ҳаракат.....	124
<b>VIII Боб</b>	
Энергиянинг сақланиш қонуни.....	128
36-§. Механик иш.....	128
37-§. Консерватив ва моноконсерватив кучлар бажар- ган иши.....	131
38-§. Қувват.....	137
39-§. Фойдали иш коэффициенти.....	139
40-§. Масала ечиш намуналари.....	141
41-§. Механик энергиянинг айланиш ва сақланиш қону- ни.....	148
42-§. Абсолют эластик ва ноэлатсик тўқнашишлар.....	149
<b>IX Боб</b>	
Гидростатика ва аэростатика асослари.....	155
43-§. Суюқлик ва газларда босим.....	155
44-§. Архимед қонуни.....	159
45-§. Атмосфера босими. Торричелли тажрибаси.....	161

## **X Боб**

Статика асослари.....	178
50-§. Кучларни күшиш ва ташкил этувчиларга ажратиш.	
Тенг таъсир этувчи куч.....	178
51-§. Параллел кучларни күшиш.....	183
52-§. Огирилк маркази.....	185
53-§. Таянч нүктага ёки таянч чизикқа эга бўлган жисмларнинг мувозанати.....	187
54-§. Қаттиқ жисмларнинг айланиши. Куч моменти.	
Жуфт кучлар.....	188
55-§. Айланиш ўқига эга бўлган жисмларнинг мувозанат шарти.....	190
56-§. Жисм мувозанати турлари.....	191

## **XI Боб**

57- §. Оддий механизмлар. Механиканинг олтин қоидаси.....	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 тафсивловчи катталиклари.....	232
65-§. Бир жинсли эластик мухитда тўлқин тарқалиши.....	235
66-§. Тўлқин интерференцияси ва дифракцияси.....	237

## **XIV Боб**

67-§. Акустика элементлари. Товуш тўлқини.....	243
68-§. Товушни тавсифловчи катталиклар.....	245
69-§. Товушнинг қайтиши ва ютилиши. Товуш резонанси.....	247
70- §. Ультратовушлар ва уларнинг қўлланилиши.....	248

# **МУЛОҲАЗАЛАР УЧУН**

# **МУЛОҲАЗАЛАР ҮЧУН**

# **МУЛОҲАЗАЛАР УЧУН**

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

# **ФИЗИКА**

**(Механика бўлими)**

**Тошкент — 2003**

Нашр учун маъсъул:	Н. Халилов
Таҳририят мудири:	М. Миркомилов
Муҳаррир:	С. Нарзиев
Мусаҳҳих:	М. Саъдуллаева
Компьютерда саҳифаловчи:	Ш. Ҳазратова

Босишга руҳсат этилди 1.11.2003. Бичими  $84 \times 108^{1/16}$ .  
Офсет қофози. Шартли босма табоги 15,0.  
Нашр табоги 12,5. Адади 1000. Буюртма 84.

«ЎАЖБНТ» Маркази, 700078, Тошкент.  
Мустақиллик майдони, 5

Андоза нусхаси Ўзбекистон Республикаси Олий ва  
ўрта маҳсус таълим вазирлиги «ЎАЖБНТ» Марказининг  
компьютер бўлимида тайёрланди.

«Хега Принт» босмахонасида чоп этилди.  
Буюк Ипак йўли 235-А