ФИЗИКА

I қисм

Академик лицей ва касб-ҳунар коллежлари учун

ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ

ЎРТА МАХСУС, КАСБ-ҲУНАР ТАЪЛИМИ МАРКАЗИ

ЎРТА МАХСУС, КАСБ-ҲУНАР ТАЪЛИМИНИ РИВОЖЛАНТИРИШ ИНСТИТУТИ

ФИЗИКА

(I қисм)

Академик лицей ва касб-ҳунар коллежлари учун ўқув қўлланма

ТОШКЕНТ «ЎҚИТУВЧИ» 2002

Муаллифлар:

ҒАНИЕВ АБДУҚАҲҲОР ГАДОЙЕВИЧ,
АВЛИЁҚУЛОВ АБДУРАШИД КАРИМОВИЧ,
АЛМАРДОНОВА ГУЛНОРА АШУРОВНА

Физика-математика фанлари номзоди, доцент А.Г. ҒАНИЕВ таҳрири остида.

Тақризчилар: физика-математика фанлари номзоди, доцент А.НЎМОНХЎЖАЕВ; физика-математика фанлари номзоди, доцент Ҳ. ИСАЕВ; техника фанлари номзоди, доцент М. ИСРОИЛОВ; техника фанлари номзоди Ж. НУРМАТОВ.

Мазкур қўлланма академик лицей ва касб-ҳунар коллежлари учун мўлжалланган бўлиб, Ўзбекистон Республикаси Олий ва ўрта махсус таълим вазирлиги тасдиқлаган «Физика» бўйича ўқув-услубий кенгашида муҳокама қилинган ва тавсия этилган намунавий ўқув дастури асосида ёзилган. Унда физиканинг механика, молекуляр физика ва термодинамика асослари, электродинамика асослари бўлимлари ёритилган.

Namangan Davlat Universitetining ilmiy kutubxonasi
6071

NAMANGAN DAVLAT UNIVERSITETI
Ahborot-resurs markazi

$F\frac{1604010000-130}{353(04)-2002}$ Қат. буюрт. — 2002.

ISBN — 5-645-03939-4

© «Ўқитувчи» нашриёти, Т., 2002 й.

СЎЗ БОШИ

Бизга маълумки, физикани ўқитишдан асосий мақсад, биринчидан, табиатнинг фундаментал қонунларини илмий асосда тушунтириш, ўқувчиларнинг илмий дунёқараш ва фалсафий мулоҳаза юритиш қобилиятларини ривожлантириш, техникада ва турмушда фойдаланилаётган ускуна ва воситаларнинг ишлаш принципини тушунтирувчи физик жараёнлар ҳақида тасаввурларни шакллантириш бўлса; иккинчидан, таълим олишни давом эттириш, олган билимларини чуқурлаштириш ва илмий изланишларини давом эттириш учун мустаҳкам замин яратишдан иборатдир.

Қўлингиздаги ўқув қўлланма ҳам юқоридаги мақсадлардан келиб чиқиб, академик лицей ва касб-ҳунар коллежлари учун мўлжалланган ўқув дастури асосида тайёрланган.

Ҳар бир мавзунинг бошида унинг қисқача мазмуни, охирида эса синов саволлари келтирилган. Фикримизча ўқувчиларнинг олдиндан мавзунинг мазмуни ҳақида маълумотга эга бўлишлари уларнинг мавзуга қизиқишларини орттиради. Синов саволларига тўла жавоб топиш эса мазкур мавзунинг ўзлаштирилганлигига кафолат бўла олади. Ҳар бир мавзу кичик мавзучаларга ажратилган бўлиб, улар мавзунинг ўқитилишдан кўзланган мақсадни ва заруратни аниқлаштиришга, жавобни эса конкретлаштиришга имкон беради. Қўлланманинг ёзилиш усули машғулотларнинг модель системасида ўтилишига замин бўла олади.

Шунингдек, ҳар бир бобдан кейин тегишли мавзуларга алоқадор машқлар, қўлланма охирида эса зарур маълумотлар келтирилган.

Қўлланманинг ушбу биринчи қисми механика, молекуляр физика ва термодинамика асослари, электродинамика асослари (оптикадан ташқари) бўлимларини ўз ичига олган.

Қўлланма муаллифлар жамоаси томонидан тайёрланган бўлиб, IV, VI, VII, XVI бобларни А. Ғаниев А. Авлиёқулов билан ҳамкорликда; I, II, V, XI бобларни А. Ғаниев Г. Алмардонова билан ҳамкорликда, қолган бобларни эса А. Ғаниев ёзган.

ТАБИАТНИ ЎРГАНИШДА ФИЗИКАНИНГ ЎРНИ ВА УНИНГ БОШҚА ФАНЛАР ТАРАҚҚИЁТИДАГИ АҲАМИЯТИ

Физика табиат ҳодисаларининг энг содда ва шу билан бирга энг умумий қонунларини, материянинг хоссалари, тузилиши ва унинг ҳаракат қонунларини ўрганадиган фандир.

Физика сўзи юнонча „physis" — табиат сўзидан олинган бўлиб, унинг қонунлари барча табиатшунослик билимларининг асосида ётади. Шунинг учун ҳам уни узоқ вақт табиат фалсафаси деб ҳам атаганлар. Тажриба материалларининг кўпайиши, уларнинг илмий умумлаштирилиши ва текшириш усулларининг такомиллаштирилиши натижасида табиат фалсафасидан — астрономия, кимё, биология, геология ва бошқа табиий фанлар, жумладан, физика ҳам ажралиб чиққан. Шунинг учун ҳам физиканинг бошқа табиий фанлар билан чегараси шартли бўлиб, вақт ўтиши билан ўзгариб боради. Инсон билимининг чуқурлашуви бу фанлар орасида янада чамбарчас боғланиш мавжудлигини кўрсатди. Бунинг натижаси сифатида эса астрофизика, физик кимё, биофизика, геофизика каби фанлар вужудга келди.

Табиат қонунларини чуқур ўрганиш бизни ўраб турган дунё материялигини, яъни бизнинг онгимиздан ташқарида ҳам мавжудлигини кўрсатади. Бизни ўраб турган барча мавжудот ва бизнинг ўзимиз ҳам, жумладан, физикада кўп фойдаланиладиган модда ва майдон ҳам материянинг ажралмас қисмларидандир. Материя доимо ҳаракатда бўлади, яъни вақт ўтиши билан уларнинг ўзаро жойлашуви, шакли, ўлчамлари, агрегат ҳолати, физик ва кимёвий хоссалари ўзгариб туради. **Ҳаракат материянинг ажралмас хоссаси ва мавжудлик шартидир.**

Материя макон (фазо) ва замонда (вақтда) мавжуддир. Табиатдаги барча жараёнлар маълум кетма-кетликда ва маълум вақтда давом этади. Вақт табиат ҳодисаларининг кетма-кетлигини ва чекли давом этишини кўрсатса, фазо жисмларнинг бир-бирига нисбатан жойлашувини кўрсатиб, улар орасидаги масофани аниқлайди. Ўз вақтида фазо ва вақтнинг хусусиятлари табиатдаги жараёнларни маълум қолипда сақлаб турувчи сақланиш қонунларига таянч бўлиб хизмат қилади. Буларнинг ҳаммаси физикани фалсафа билан нақадар чуқур боғланиб кеттанлигининг нишонасидир.

Физика тажрибавий фан бўлиб, унинг қонунлари тажриба натижаларига асосланади. Тажриба маълум қонунларни текшириш ва янги натижаларни аниқлаш учун ўтказилади. Назария эса топилган натижаларга таяниб табиат қонунларини шакллантиради, маълум ҳодисаларни тушунтиради ва баъзан янги ҳодисаларни башорат қилади.

Ўрганилаётган объектларнинг турига қараб физика ядро физикаси, элементар зарралар физикаси, атом ва молекулалар физикаси, қаттиқ жисмлар физикаси, плазма физикаси ва ҳоказоларга бўлинади.

Физика ўрганилаётган жараёнлар ва материя ҳаракатининг шаклига қараб: моддий нуқта ва қаттиқ жисм механикаси, яхлит муҳит механикаси, термодинамика ва статистик механика, электродинамика, тортишиш назарияси, квант механикаси, квант майдон назарияси каби бўлимларга бўлинади.

Техника фанга асосланган ва ишлаб чиқариш унумдорлигини оширишга ёрдам берувчи, инсон томонидан яратилган барча қурилмалар ва воситалар тўпламидир.

Физика техника билан ҳам чамбарчас боғланган. Физика ва техниканинг боғланиши қуйида икки томонлама намоён бўлади:

Физика — одамлар турмушининг эҳтиёжи сифатида вужудга келади. Қадимда механиканинг ривожланишига қурилиш ва ҳарбий эҳтиёжлар туртки бўлган. Шунингдек, рус инженери И. Ползунов (1728 — 1766) томонидан узлуксиз ишловчи буғ машинасининг лойиҳа қилиниши, инглиз ихтирочиси Ж. Уатт томонидан (1736 — 1819) универсал буғ двигателининг ясалиши буғ машиналари фойдали иш коэффициентини ошириш йўлларини излашни тақозо этган. Натижада термодинамика жадал суратда ривожланган.

Физиканинг ривожланиши ишлаб чиқаришнинг техникавий даражасига таъсир кўрсатади.

Физикада кашфиётлар амалга оширилгандан сўнг, уларни ишлаб чиқаришга татбиқ этиш билан шуғулланувчи мутахассислар майдонга чиқадилар ва физика билан чамбарчас боғланган янги фанлар вужудга келади.

XIX асрнинг охири ва XX асрнинг бошида электромагнит ҳодисаларга боғлиқ кўплаб жараёнлар кашф этилди.

Л. Гальвани (1737 — 1798) ва А. Вольта (1745 — 1827)лар томонидан ток манбалари — гальваник элементларининг, М. Фарадей (1791 — 1867) томонидан электромагнит индукция ҳодисаси, А. Попов (1857 — 1906) томонидан радионинг кашф қилиниши, немис физиги Г. Герц (1857 — 1894) томонидан электромагнит тўлқинлар мавжудлигининг исботланиши электротехника, радиотехниканинг ривожланишига сабаб бўлди.

Шунингдек, атом ва ядро физикаси соҳасидаги кашфиётлар атом энергиясидан фойдаланиш имкониятларини яратди. Ҳозирги пайтда кўплаб атом электр станциялари, атом энергиясида ишловчи музёрар ва сувости кемалари ишлаб турибди.

Ярим ўтказгичларнинг кашф қилиниши радио ва электрон ҳисоблаш техникасида инқилобий ўзгаришларни амалга оширди. Замонавий телевизорлар, магнитофонлар, компьютерлар ва бошқа воситаларнинг яратилишига асос бўлиб хизмат қилди. Космоснинг ўзлаштирилиши ва ундан амалда фойдаланиш натижасида эса дунёнинг исталган чеккасидан узатилаётган радио ва телевизион эшиттиришларни қабул қилиш, симсиз сўзлашув воситаларини яратиш имкони вужудга келди.

Ярим ўтказгичли фотоэлементларнинг яратилиши сунъий йўлдошларни энергия билан таъминлашга, қуёш энергиясини электр энер-

гиясига айлантириб, экологик тоза энергия олишга имкон яратди. Натижада электротехника, радиотехника, ядро техникаси, иссиқлик техникаси, гелиотехника, электроника каби фанлар вужудга келди. Инсоннинг оғирини енгиллаштиришга хизмат қилаётган физик кашфиётлар натижаларини яна кўплаб келтириш мумкин.

Физиканинг ривожланиш тарихидан маълумотлар

Физик жараёнлар жуда қадим замонлардан буён, ҳаттоки эрамиздан олдин ҳам одамларнинг диққат марказида бўлган. Моддаларнинг атомлардан ташкил топганлиги тўғрисидаги таълимот Демокрит, Эпикур, Лукрецийлар томонидан олга сурилган. Оламнинг геоцентрик системаси (Ер оламнинг маркази) ҳақидаги таълимот Птоломей томонидан яратилган. Шунингдек, эрамиздан олдин Қадимги Юнонистонда ричаг (таянч), ёруғликнинг тўғри чизиқ бўйлаб тарқалиши ва қайтиши тўғрисидаги, гидростатикада Архимед қонунлари яратилди. Электр ва магнит ҳодисаларига алоқадор баъзи оддий ҳодисалар кузатилди. Буларнинг бариси эрамиздан олдинги тўртинчи асрда Аристотель томонидан умумлаштирилиб ягона системага солинди. Лекин шуни таъкидлаш керакки, унинг фикрича билишнинг асосий воситаси тажриба бўлмай, ақлий мулоҳаза юритиш бўлган. Бундан сўнг узоқ вақт давомида физиканинг ривожланишига ҳисса қўшадиган арзигулик ишлар кузатилмаган. Ўн еттинчи асрга келиб италиялик машҳур физик Г. Галилей (1564 — 1642) ҳаракатни математик тенгламалар ёрдамида ифодалаш зарурлигини тушунди. У, Аристотелдан фарқли ўлароқ, жисмларнинг бирор жисмга таъсири натижасида у тезлик эмас, балки тезланиш олишини кўрсатди. Галилей (1609) инерция, жисмларнинг эркин тушиши қонунларини (1604 — 1609) яратди. Ёруғликнинг тезлигини ўлчаш мақсадида тажриба ўтказди. Шунга қарамасдан, ўн еттинчи асрнинг энг улкан ютуғи бўлиб инглиз физиги И. Ньютон (1643 — 1727) томонидан кашф этилган классик механиканинг яратилиши ҳисобланади. У ўзининг 1687 йилда чоп этилган «Натурал философиянинг математик асослари» асарида динамиканинг учта асосий қонуни ва бутун олам тортишиш қонунини баён қилди.

Физика ривожининг кейинги босқичи Ж. Максвелл (1831 — 1879) томонидан (1860 — 1865 йилларда) электромагнит майдон назариясининг яратилиши бўлди. 1888 йилда Г. Герц (1857 — 1894) электромагнит тўлқинларнинг мавжудлигини тажрибада исботлади.

Кейинги муҳим воқеалар 1895 йилда В. Рентген (1846 — 1923) томонидан ўз номи билан аталувчи нурларнинг, 1896 йилда А. Беккерель (1822 — 1908) томонидан табиий радиоактивликнинг кашф қилинишидир.

1905 йилда А. Эйнштейн (1879 — 1955) махсус нисбийлик назариясини эълон қилди. Шу йили у фотоэффект учун ўз формуласини ёзди. 1911 йилда Э. Резерфорд (1871 — 1937) ва 1913 йилда Н. Бор (1885 — 1962) атомнинг планетар моделини яратдилар.

Юқоридагилар квант физикасига асос бўлди. Атом ядроси ва элементар зарралар физикаси вужудга келди.

Шуни қайд этиш керакки, оламнинг ҳозирги физикавий манзараси ҳосил бўлгунча жуда кўплаб дадил ғоялар олға сурилди ва кашфиётлар қилинди. Физика соҳасидаги билимларини чуқурлаштиришни хоҳловчилар, албатта, улар билан танишадилар. Энди эса табиатни ўрганиш илмига буюк боболаримиз, Шарқ алломаларининг қўшган ҳиссаларига тўхталиб ўтайлик.

Шарқ алломаларининг табиатни ўрганиш илмига қўшган ҳиссалари

Ўзбекистон — илм-фан ва маданият қадимдан тараққий топган мамлакатлардан бири. Айниқса, астрономия, математика, тиббиёт, кимё, тўқимачилик, меъморчилик, маъданшунослик, кулолчилик, фалсафа, мусиқа, тилшунослик, адабиётшунослик яхши ривожланган.

Марказий Осиё, хусусан, Ўзбекистон ҳудудида олиб борилган археологик қазишлар ва тадқиқотлар буни яққол исботлаб бермоқда.

Шарқ алломаларининг буюк вакиллари бўлмиш Мусо ал-Хоразмий ва Муҳаммад ал-Фарғонийлар Бағдод академияси „Байт ул-Ҳикмат“ („Донолар уйи“) да ўз тадқиқотларини олиб борганлар. Абу Абдуллоҳ Муҳаммад ибн Мусо ал-Хоразмий (780 й.да Хивада туғилиб, 850 й. да Бағдодда вафот этган) математика, астрономия, география соҳасида асарлар яратган. „Ал-жабр“ (алгебра) фани ва „алгоритм“ тушунчасига асос солган. Унинг „Ҳисоб ал-Ҳинд“ ва „Астрономик жадваллар“ асарлари ўн иккинчи асрдаёқ лотин тилига таржима қилиниб, Европада кенг тарқалган ўнли саноқ системаси ва алгоритм тушунчасининг ёйилишига олиб келган.

Абдул Аббос Аҳмад ибн Муҳаммад ибн Кашр ал-Фарғоний ҳам астрономия, география, математика фанлари билан шуғулланган (790 й.да Фарғона водийсида туғилиб, 865 й. да Бағдодда вафот этган). Фарғоний Қуёш тутилишини олдиндан ҳисоблаб чиққан. Ернинг шарсимон экаплигини илмий исботлаган, меридиан узунлигини ҳисоблаган, Нил дарёсининг оқимини ўлчаш учун асбоб ясаган ва унга рисолалар ёзган. Унинг „Юлдузлар илми ва самовий ҳаракатлар ҳақида тўплам“ номли қомусий асари кўплаб тилларга таржима қилинган.

Ўша даврда яшаган буюк Шарқ алломаларидан яна бири Абу Наср Муҳаммад Узлуг Тархон ал-Форобийдир. (873 й. да Чимкент вилоятида туғилиб, 960 й. да Дамашқда вафот этган.) Турли соҳаларга оид 160 дан зиёд асарлар ёзган. Замондошлари уни Шарқ Арастуси деб атаганлар.

Ўн биринчи асрда Хоразм пойтахти Урганчда „Билимдонлар уйи“ — „Академия“ ташкил этилган бўлиб, фалсафа, математика ва тиб илмлари муҳокама қилинган. Буюк мутафаккирлар Ибн Сино, Беруний, Абу Наср Арроқ ва бошқалар бу академиянинг аъзолари бўлишган.

Ибн Сино

Мирзо Улуғбек

Ал-Хоразмий

Қомусий олим ва мутафаккир Абу Райҳон Муҳаммад ибн Аҳмад ал-Беруний (973 й. да Хоразмда туғилиб, 1048 йилда Ғазнада вафот этган) биринчи глобусни ясаган. 150 дан ортиқ китоб ва рисолалар ёзган. Гелиоцентрик система тўғрисидаги фикрлари фан тараққиётига катта ҳисса қўшган.

Абу Али ибн Сино — қомусий олим, мутафаккир, файласуф, шоир (980 й. да Бухоро яқинидаги Афшона қишлоғида туғилиб, 1037 й. да Исфаҳонда вафот этган). Асарларининг сони 280 дан зиёд. Улардан 40 дан кўпроғи тиббиётга, 30 дан ортиғи табиий фанлар ва мусиқага оид, қолганлари фалсафа, мантиқ, ахлоқ, илоҳиёт, ижтимоий-сиёсий мавзуларда.

Ўн бешинчи асрда Мирзо Улуғбек Самарқандда академия ташкил қилди. Унинг қошида яхши жиҳозланган расадхона, бой кутубхона ва олий ўқув юрти — мадраса бор эди.

Муҳаммад Тарағай Улуғбек (1394 йилда Султония шаҳрида туғилган, 1449 йилда ўлдирилган) дунёдаги энг йирик астрономия мактабини тузган. Катта илмий ва маданий мерос қолдирган. Шулардан бири „Улуғбек зижи" („Зижи Кўрагоний")дир. Шогирдлари билан мингдан ортиқ юлдузлар рўйхатини тузган.

Машҳур астроном ва математик олим — Насриддин Тусий (Абу Жаъфар Муҳаммад ибн Муҳаммад ибн Ҳасан) 1201 — 1274) астро-

Беруний

Форобий

номия ва математика фанлари тараққиётига катта ҳисса қўшган. Унинг „Ахлоқи Насрий“ ва „Тажрид“, шунингдек минералогия, тиббиёт, физика, мантиқ, фалсафа ва бошқа соҳаларга оид кўплаб асарлари мавжуд.

Математик ва астроном Қозизода Румий (Салоҳиддин Мусо ибн Муҳаммад ибн Муҳаммад 1360 — 1437) Мирзо Улугбекнинг устози бўлган. Румий „Афлотуни замон“ (ўз даврининг Платони) номини олган.

Атоқли математик ва астроном ал-Коший (Ғиёсиддин Жамшид Коший, тахминан 1430 й. да вафот этган) биринчи бўлиб математикага ўнли касрларни киритди ва назарий асослади, sin 1° ва π сонини ўнли системада 17 хонагача аниқлик билан ҳисоблади.

Машҳур астроном Али Қушчи (Мавлоно Алоуддин Али ибн Муҳаммад Қушчи, 1403 — 1474) математика ва астрономияга доир рисолалар ёзган. У фасллар алмашинуви, Ой ва Қуёш тутилишини илмий-табиий жиҳатдан тўғри тушунтириб берган.

Юқорида номлари қайд этилган буюк мутафаккирларнинг табиий фанлар, математика, тиббиёт, фалсафа, тилшунослик соҳаларидаги ишлари, кашфиётлари бутун дунё илму фанининг тараққиётига катта ҳисса қўшди, айрим фан соҳаларининг юқори босқичга кўтарилишига, янги йўналишлар пайдо бўлишига олиб келди. Буюк боболар руҳига юксак ҳурмат ва эҳтиромда бўлган кейинги авлодлар уларнинг ишларини муносиб давомчилари бўлиб қолишмоқда. Бунга Ўзбекистонда физика тараққиёти соҳасида олиб борилаётган ишлар яққол мисол бўла олади.

Ўзбекистонда физика тараққиёти соҳасида олиб борилаётган ишлар

Ўзбекистон мустақилликка эришгандан сўнг илм-фаннинг ривожига алоҳида эътибор берилмоқда. Ҳозирги Ўзбекистон фанлар академиясининг илмий-тармоқлар бўйича саккизта бўлими мавжуд. Улардан бири физика-математика фанлари бўлимидир. Унинг таркибига физика соҳасида фаолият кўрсатаётган қуйидаги илмий текшириш институтлари киради: Ядро физикаси институти „Физика-қуёш" илмий ишлаб чиқариш бирлашмаси, Электроника институти, Астрономия институти, иссиқлик физикаси бўлими. Ҳозирги пайтда Ўзбекистонда физиканинг қуйидаги йўналишлари бўйича илмий изланишлар олиб борилмоқда:

Иссиқлик физикаси — асосан, академик П. Қ. Ҳабибуллаев яратган илмий мактабда олиб борилиб, унинг асосини Ўзбекистон Фанлар академиясининг Иссиқлик физикаси бўлими ташкил қилади. Илмий ишлар: бир жинсли бўлмаган муҳитлар иссиқлик физикаси, лазер нурларининг жисмлар билан ўзаро таъсирлашуви, юқори ҳароратли ўта ўтказувчанлик йўналишларига тааллуқлидир.

Ядро физикаси — бу соҳадаги ишлар, асосан, Ядро физикаси институтида олиб борилади. Улар Ўзбекистонда 20-йиллардан бошланган. Лекин мунтазам тадқиқотлар Физика, техника институтида академик С. А. Азимов (1914 — 1988) раҳбарлигида олиб борилган. 1956 йилда эса Ядро физикаси институти ташкил қилинган. Ҳозир бу ерда: ядро спектроскопияси ва ядро тузилиши, ядро реакциялари, майдоннинг квант назарияси, элементар зарралар физикаси, релятивистик ядро физикаси ва бошқа йўналишлар бўйича илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда.

Қуёш техникаси физикаси (гелиотехника) — бу йўналишнинг асосий мақсади қуёш нури энергиясини иссиқлик энергиясига айлантиришнинг физик асосларини ишлаб чиқиш ва улар асосида юқори самарали гелиотехник қурилмаларни яратишга қаратилган. Бу тармоқнинг ривожланишида академиянинг мухбир аъзоси Ғ. Умаровнинг (1921 — 1988) хизматлари катта. Ҳозирги пайтда хонадонларни иссиқ сув ва иссиқлик билан таъминловчи қуёш иситгичлари, мева қуритгичлар, шўр сувларни чучуклаштирувчи қурилмалар, қуёш энергияси асосида ишловчи бошқа мосламалар халқ хўжалигида кенг фойдаланилмоқда.

Қийин эрувчи материаллар физикаси. Юқори ҳароратли материалшуносликка оид бу тадқиқотлар 1976 йилдан бошлаб С. Азимов ва бошқалар томонидан кенг кўламда ўтказила бошланди. Бу тадқиқотларда тўпланган қуёш нури билан материалларга термик ишлов бериш усули асос қилиб олинди. Шу мақсадда 1987 йилда Тошкент вилоятининг Паркент туманида 1000 кВт қувватли катта қуёш сандони қуриб битказилди. Бундай қурилма шу пайтга қадар Франциянинг Одейо шаҳридагина мавжуд эди. Қурилманинг фокус масофа-

П. Ҳабибуллаев
(1936 й. туғилган)

У. Орифов
(1909 — 1976)

С.А. Азимов
(1914 — 1988)

си 18 м бўлиб, у 54x42 м ўлчамга эга ва 62 та бир хил ўлчамдаги гелиостатлардан иборат. 1993 йилда эса „Физика — Қуёш“ илмий ишлаб чиқариш бирлашмаси таркибида „Материалшунослик“ илмий текшириш институти ташкил қилинди.

Юқори энергиялар физикаси соҳасидаги ишлар академик С. Азимов раҳбарлигида Физика, техника институтида бошланган. Тадқиқотлар, асосан, икки йўналишда олиб борилмоқда: космик нурлар физикаси ва жуда катта энергиягача тезлаштирилган зарра ва ядроларнинг нуклонлар ҳамда ядролар билан таъсирлашувларини ўрганиш.

Физикавий электроника Ўзбекистонда бу соҳадаги дастлабки тадқиқотлар ўтган асрнинг ўттизинчи йилларида бошланган. Бу соҳанинг кейинги ривожланиши, физик-электрончилар илмий мактабининг вужудга келиши, кўп жиҳатдан академик У. Орифов (1909 — 1976) номи билан боғлиқ. 1967 йилда эса Фанлар академиясининг электроника институти ташкил қилинди. Ҳозирги пайтда бу йўналишдаги ишлар сирт диагностикаси ва қаттиқ жисм сиртининг физик-кимёвий хоссаларини керакли йўналишда ўзгартиришнинг методик асосларини ишлаб чиқишга ҳамда ярим ўтказгич ва конструкцион материаллар олиш ва уларга ишлов беришнинг замонавий ион-нур технологияларини яратишга қаратилган.

Ярим ўтказгичлар физикаси — бу соҳадаги илмий тадқиқот ишлари йигирманчи асрнинг 30 йилларида бошланган. Бу ишлар кўплаб илмий текшириш институтлари ва олий ўқув юритларида олиб борилмоқда. Ярим ўтказгичлар физикаси соҳасида ўзбек олимларининг ютуқлари ҳам талайгина. Жумладан, қуёш энергиясини электр энергиясига айлантириб берувчи ўзгарткичлар, юқори кучланишли фотоэлектрик генераторлар, икки ёқлама сезгир фотоўзгарткичлар ишлаб чиқилди ва улар асосида фотоэлектрик қурилмаларнинг модуллари яратилди.

Физик катталиклар. Бирликлар системаси

М а з м у н и: физикавий қонунлар, физик катталик, бирликлар системаси; бирликлар системасининг танланиши; Халқаро бирликлар системаси; ҳосилавий бирликлар.

Маълумки, физика фанининг асосий текшириш услуби — тажрибадир. Тажрибалар натижасини тушунтириш, асослаш мақсадида илмий назариялар яратилади. Буларнинг ҳаммаси табиатда мавжуд бўлган объектив қонуниятларни ўрганишга ва натижада уларнинг физик қонунларини яратилишига олиб келади. Физик қонунлар физик катталиклар орасидаги маълум муносабатлар воситасида ифодаланади.

Физик катталик деб, миқдор жиҳатдан ҳар бир физик объект учун хусусий, лекин сифат жиҳатдан кўплаб объектлар учун умумий бўлган ва бу объектларнинг бирор хоссасини ифодаловчи катталикка айтилади.

Физик катталикни ҳам миқдор, ҳам сифат жиҳатдан тўла ифодалайдиган катталикка унинг *ҳақиқий қиймати* дейилади.

Физик катталикларнинг қийматлари доимо такомиллаштирилиб бориладиган тажрибалар ёрдамида аниқланади ва уларни солиштириш келишилган бирликларни (бирлик системасини) киритилишини тақозо этади.

Физик катталиклар системаси асосий ва ҳосилавий катталиклардан иборатдир. Асосий физик катталиклар еттита бўлиб, уларнинг учтаси моддий дунёнинг асосий хоссаларини ифодаловчи: *узунлик, масса, вақтдир.* Қолган тўрттаси: *ток кучи, термодинамик ҳарорат, модда миқдори ва ёруғлик кучи* физиканинг бирор бўлимидан олинган.

Физик катталикнинг сон қиймати унинг катталигини кўрсатади ва у танланган бирликка боғлиқ. *Физик катталикнинг бирлиги деб, ҳар бир физик катталикни миқдорий ифодалаш учун қўлланиладиган, шартли равишда сон қиймати бирга тенг деб белгиланган ўлчамли физик катталикка айтилади.* Одатда, бирлик катталикнинг белгиси ёрдамида қуйидагича кўрсатилади: [s] = 1м; [m] = 1кг ва ҳоказо. Физик катталикларнинг асосий ва ҳосилавий бирликларининг тўплами бирликлар системасини ташкил қилади.

Физик катталикларнинг Халқаро бирликлар системаси (SI — sistema international, ўзбекча «СИ») 1960 йилда ўлчов ва тарозилар бўйича бош конференцияда қабул қилинган бўлиб, еттита асосий — метр, килограмм, секунд, ампер, кельвин, моль, кандела ва иккита қўшимча — радиан ва стерадианлардан тузилган.

Метр (м) — ёруғликнинг бўшлиқда 1/299792 458 с да ўтадиган йўлининг узунлиги;

килограмм (кг) — килограммнинг халқаро тимсолининг массасига тенг масса (Париж яқинидаги Севр шаҳрида ўлчов ва тарозилар

халқаро бюросида сақланаётган платина-иридий қотишмасининг массаси);

секунд (с) — цезий-133 атоми асосий ҳолатининг иккита ўта нозик сатҳлари орасидаги ўтишга мос келувчи нурланиш даврининг 9192631770 тасига тенг бўлган вақт;

кельвин (К) — сув учламчи нуқтаси термодинамик ҳароратининг 273,15 дан бир қисмига тенг ҳарорат бирлиги;

ампер (А) — бўшлиқда бир- биридан 1 м масофада параллел жойлашган, кўндаланг кесим юзаси жуда кичик бўлган, чексиз узун ўтказгичлардан ўтганида ўтказгичлар орасида улар узунлигининг ҳар бир метрига $2 \cdot 10^{-7}$ Н ўзаро таъсир кучи вужудга келтирадиган ўзгармас ток кучидир;

моль (моль) — таркибий элементлари, 0,012 кг массали ^{12}C нуклидда мавжуд бўлган таркибий элементларга тенг системанинг модда миқдори;

кандела (кд) — $540 \cdot 10^{12}$ Гц частотали монохроматик нурланиш чиқарадиган манбанинг энергетик кучи 1/683 Вт/ср бўлган йўналишдаги ёруғлик кучи;

радиан (рад) — қаршисидаги ёйнинг узунлиги айлананинг радиусига тенг бўлган иккита айлана радиуси орасидаги бурчак;

стерадиан (ср) — сфера сиртидан томони сфера радиусидек бўлган квадратнинг юзасига тенг юзани ажратувчи, учи сфера марказида бўлган фазовий бурчак.

Ҳосилавий бирликлар физик қонунлардан фойдаланиб топилади.

Синов саволлари

1. Физика фанининг асосий текшириш услуби нима? 2. Физик қонунлар деб қандай қонунларга айтилади? 3. Физик катталик деб қандай катталикка айтилади? 4. Физик катталикнинг ҳақиқий қиймати нима? 5. Асосий физик катталиклар. 6. Асосий физик катталиклар қандай танланган? 7. Физик катталикнинг бирлиги. 8. Халқаро бирликлар системаси қачон қабул қилинган? 9. Бирликлар системасининг киритилишидан мақсад нима? 10. Халқаро бирликлар системасидаги асосий ва қўшимча бирликлар ва уларнинг аниқланиши. 11. Ҳосилавий бирликлар қандай аниқланади?

МЕХАНИКА

Жисмларнинг, ёки жисм қисмларининг бир-бирига нисбатан ўрнининг ўзгаришига *механик ҳаракат* дейилади.

Физиканинг, механик ҳаракат қонунлари, ҳамда бу ҳаракатни вужудга келтирувчи ва ўзгартирувчи сабабларини ўрганувчи бўлимига *механика* дейилади.

Механика-ўрганилаётган жисмларнинг ўлчамлари ва тезликларига қараб классик, релятивистик ва квант механикаларига ажратилади.

Классик механика

Тезликлари ёруғликнинг бўшлиқдаги тезлигидан жуда кичик бўлган макрожисмларнинг ҳаракат қонунларини ўрганади. Классик механиканинг асосий қонунлари италиялик физик ва астроном Г. Галилей томонидан аниқланган бўлиб, инглиз олими И. Ньютон томонидан мукаммал тавсифлангандир.

Релятивистик механика

Ёруғликнинг бўшлиқдаги тезлигига яқин бўлган тезликлар билан ҳаракатланувчи жисмларнинг ҳаракат қонунларини ўрганади. Релятивистик механика А. Эйнштейннинг махсус нисбийлик назарияси асосида яратилган механикадир.

Квант механикаси

Квант механикасида микрожисмларнинг (атомлар ва элементар зарраларнинг) ҳаракат қонунлари ўрганилади.

Механика уч қисмга бўлинади

1. Кинематика
2. Динамика
3. Статика.

Кинематика — жисмларнинг ҳаракат қонунларини, бу ҳаракатни вужудга келтирувчи сабабларни эътиборга олмай ўрганади.

Динамика — жисмларнинг ҳаракат қонунларини, бу ҳаракатни вужудга келтирувчи ва ўзгартирувчи сабаблар билан биргаликда ўрганади.

Статика — жисмлар системасининг мувозанат қонунларини ўрганади ва физикада динамика қонунлари билан биргаликда кўрилади.

I БОБ. КИНЕМАТИКА

Механиканинг жисмлар ҳаракати қонунларини бу ҳаракатни вужудга келтирувчи сабабларсиз ўрганадиган бўлимига кинематика дейилади. Кинематиканинг асосий вазифаси ҳаракатни характерловчи катталикларни аниқлаш ва уни формулалар, графиклар, жадваллар ёрдамида тавсифлашдир.

1-§. Ҳаракат ҳақида умумий тушунча. Саноқ системаси

Мазмуни: моддий нуқта ва абсолют қаттиқ жисм тушунчалари; илгариланма ва айланма ҳаракат; саноқ системаси; моддий нуқта ҳаракатининг кинематик тенгламаси.

Солиштириш усули билан ўрганиш. Шуни алоҳида қайд этмоқ керакки, инсоннинг энг юксак интеллектуал қобилияти солиштириш ёрдамида ўрганишдир. Бошқача айтганда ўрганилаётган жисм ҳаракати, ундан соддароқ бўлган, физик модель сифатида танлаб олинган жисм ҳаракати билан *солиштириш* ёрдамида ўрганилади.

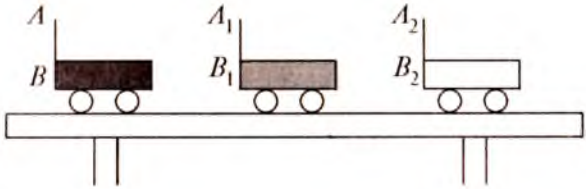
Энг содда модель сифатида моддий нуқта тушунчасидан фойдаланилади.

Моддий нуқта. Моддий нуқта деб, маълум массага эга бўлган ва ҳаракати ўрганилаётган ҳолда ўлчамларини ҳисобга олмаслик мумкин бўлган жисмга айтилади. Моддий нуқта тушунчаси нисбий бўлиб, у ўрганилаётган масалага бевосита боғлиқ. Масалан, планеталарнинг қуёш атрофидаги орбиталар бўйлаб ҳаракати ўрганилганда, уларни моддий нуқта сифатида қараш мумкин. Айни пайтда Ер шари атрофида ҳаракатланаётган улкан сунъий йўлдошни Ерга нисбатан моддий нуқта сифатида қараш мумкин.

Абсолют қаттиқ жисм. Механикада кўп фойдаланиладиган моделлардан яна бири абсолют қаттиқ жисм тушунчасидир. *Абсолют қаттиқ жисм* деб, ҳеч қандай ҳолатда ҳам деформацияланмайдиган, бошқача айтганда ҳар қандай куч таъсирида ҳам исталган иккита нуқтаси орасидаги масофа ўзгармай қоладиган жисмга айтилади.

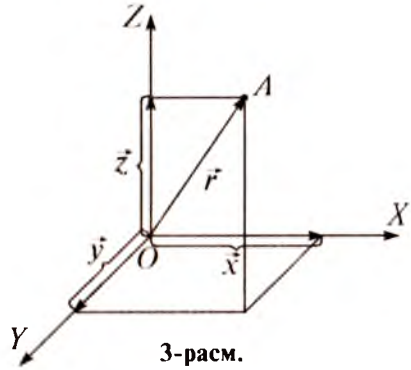
Илгариланма ҳаракат. Ҳар қандай ҳаракатни ҳам илгариланма, ҳам айланма ҳаракатлар йиғиндиси сифатида қараш мумкин.

Агар қаттиқ жисмнинг исталган нуқтасига бириктирилган тўғри чизиқ ҳаракат давомида ўзининг дастлабки ҳолатига параллел бўлиб қолса, бундай ҳаракатга *илгариланма ҳаракат* дейилади. Мисол учун стол устида ҳаракатланаётган аравачани қарайлик. Аравачанинг ҳар учала ҳолатида ҳам унинг охирги нуқтасидан ўтган AB, A_1B_1 ва A_2B_2 тўғри чизиқлар унга параллелдир (1-расм).



1-расм.

2-расм.



3-расм.

Шуни таъкидлаб ўтиш керакки, жисм илгариланма ҳаракат қилганда барча нуқталари бир хил ҳаракатланади ва параллел излар қолдиради.

Айланма ҳаракат. Агар қаттиқ жисмнинг барча нуқталари айланиш ўқи деб аталувчи маълум ўқ атрофида айланалар бўйлаб ҳаракатланса, бундай ҳаракатга *айланма ҳаракат* дейилади. Айлантириб ўйналадиган болалар ўйинчоғи бунга мисол бўлади. Агар ўйинчоқ сиртига турли рангли нуқталар қўйилса, ҳаракат давомида бу нуқталар шу рангли айлана бўлиб кўринади (2-расм).

Саноқ системаси. Юқорида қайд қилиб ўтилганидек, механик ҳаракат жисм жойлашувининг бошқа жисмларга нисбатан ўзгаришини кўрсатади. Демак, унинг ҳолати қайси жисмга нисбатан ўрганилаётган бўлса, шу жисм гўёки саноқнинг бошига айланади. Поезд ҳаракати вокзалга, футбол тўпи ҳаракати футболчига нисбатан жойлашувининг ўзгаришига қараб аниқланади. Бундай мисолларни кўплаб келтириш мумкин. Механик ҳаракатни тўла тавсифлаш учун эса унинг макон ва замондаги ҳолатини тўла кўрсата оладиган саноқ системасини киритиш зарур. Бундай вазифани геометриядан таниш бўлган декарт системаси ва унга бириктирилган соат мажмуаси бажариши мумкин.

Фазодаги исталган моддий нуқтанинг ўрни учта координата (x,y,z) билан аниқланади. Агар ҳаракат текисликда кўрилаётган бўлса, иккита координата (x,y), тўғри чизиқда кўрилаётган бўлса, битта координата (x) билан кифояланиш мумкин. $\vec{x}$, $\vec{y}$, $\vec{z}$ векторлар $\vec{r}$ вектор нинг ташкил этувчилари ёки унинг координата ўқларидаги проекциялари дейилади (3-расм).

$$\vec{r} = \vec{x} + \vec{y} + \vec{z}.$$

Моддий нуқтанинг ҳаракати. *A* моддий нуқта саноқ системасида ҳаракатланса, унинг координаталари (x,y,z) t вақт ўтиши билан ўзгара боради. Бу ўзгаришни математик кўринишда қуйидагича ифодалаш мумкин:

$$\begin{cases} x = x(t), \\ y = y(t), \\ z = z(t) \end{cases} \qquad (1.1)$$

ёки вектор кўринишида $\vec{r} = \vec{r}(t)$. (1.2)

Моддий нуқта ҳолатини вақт ўтиши билан ўзгаришини ифодалайдиган бу тенгламага *моддий нуқта ҳаракатининг кинематик тенгламаси* дейилади.

Синов саволлари

1. Механик ҳаракат деб қандай ҳаракатга айтилади? Механик ҳаракатга учта мисол келтиринг. 2 Механика нимани ўрганади? 3. Классик механика нимани ўрганади? 4. Релятивистик механика нимани ўрганади? 5. Квант механикаси нимани ўрганади?. 6. Кинематика нимани ўрганади? 7. Динамика нимани ўрганади? 8. Статистика нимани ўрганади? 9. Солиштириш билан ўрганишнинг аҳамияти нимада? 10. Моддий нуқта деб нимага айтилади? 11.Ҳаракатнинг қандай турларини биласиз? 12. Илгариланма ҳаракат деб қандай ҳаракатга айтилади? Мисоллар келтиринг. 13. Айланма ҳаракат деб қандай ҳаракатга айтилади? Мисоллар келтиринг. 14. Нима учун саноқ системаси тушунчаси киритилади? 15. Саноқ системасида моддий нуқтанинг ўрни қандай аниқланади? 16. Моддий нуқта ҳаракатининг кинематик тенгламаси.

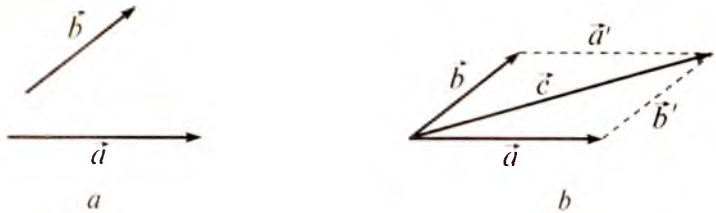
2-§. Вектор катталиклар. Векторлар устида амаллар бажариш

М а з м у н и: вектор катталиклар; векторларнинг ифодаланиши; векторлар устида алгебраик амаллар; икки векторларнинг скаляр ва векториал кўпайтмалари.

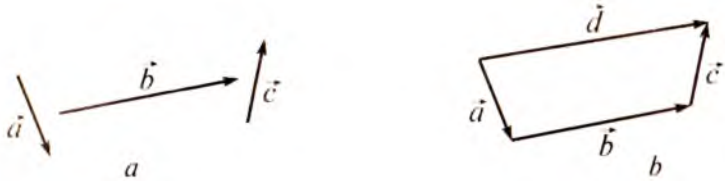
Физик катталиклар. Физикада, асосан, икки хил катталик қўлланилади. Улардан бири ўзининг сон қиймати билан тўла аниқланиб, *скаляр миқдорлар* ёки *скалярлар* дейилади. Бундай катталикларга юза, ҳажм, зичлик, масса, иссиқлик миқдори, энергия миқдори ва бошқалар киради.

Катталикларни тўла ифодалаш учун эса уларнинг сон қийматларидан ташқари йўналишлари ҳам берилган бўлиши керак. Бундай

6071



4-расм.



5-расм.

катталиклар *вектор катталиклар* ёки *векторлар* дейилади. Кўчиш, тезланиш, куч, куч моменти вектор катталиклардир.

Векторларнинг ифодаланиши. Чизмада тугаш нуқтаси стрелка қўйиш билан кўрсатилса, ёзувда вектор белгиланган ҳарф устида стрелка қўйилади $(\vec{r})$. Векторнинг сон қиймати унинг *модули* ёки *узунлиги* дейилади ва r ёки $|\vec{r}|$ дек кўрсатилади.

Узунликлари тенг ва йўналишлари бир хил бўлган векторларга ўзаро тенг векторлар дейилади. Узунлиги бир бирликка тенг бўлган векторга бирлик вектор дейилади ва $\vec{r}_0$ каби белгиланади: $\vec{r} = 1 \cdot \vec{r}_0$.

Бошланғич нуқтаси текислик ёки фазонинг исталган нуқтасида ётиши мумкин бўлган векторларга *озод векторлар* дейилади. Биз озод векторлар билан иш кўрамиз, яъни векторларни керакли нуқтага кўчирамиз. Бу улар устида амаллар бажарилишини осонлаштиради. Ўз навбатида фазонинг ва вақтнинг бир жинслилиги, яъни уларнинг барча қийматларининг тенг кучлилиги бунга тўла имкон беради. Векторлар устида амаллар.

Векторларни қўшиш. Иккита $\vec{a}$ ва $\vec{b}$ вектор йиғиндиси деб, томонлари шу векторлардан иборат бўлган параллелограммнинг диагоналига тенг бўлган векторга айтилади (4-расм).

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

Бунда $\vec{a}$ ва $\vec{b}$ векторлар 0 нуқтага кўчирилган ва уларга параллел бўлган $\vec{a}$ ва $\vec{b}$ векторлар ёрдамида параллелограмм ҳосил қилинган. 4- расмдан кўриниб турибдики, $\vec{a}$ ва $\vec{b}$ векторларни қўшиш учун $\vec{b}$ векторнинг бошини $\vec{a}$ векторнинг тугаш нуқтасига кўчириш ва $\vec{a}$ векторнинг бошланиш нуқтасини $\vec{b}$ векторнинг тугаш нуқтаси билан туташтириш кифоя экан. Бир нечта вектор қўшилганда айнан шундай иш тутилади (5-расм).

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

Алгебраик йиғинди деганда катталикларнинг сон қийматларини қўшиш, геометрик йиғинди деганда эса сон қийматларидан ташқари йўналишларини ҳам ҳисобга олиб қўшиш назарда тутилади.

Векторларни айириш. $\vec{a}$ вектордан $\vec{b}$ векторни айириш, $\vec{a}$ векторга ($-\vec{b}$) векторни қўшиш каби бажарилади.

$$\vec{c} = \vec{a} - \vec{b} = \vec{a} + \left(-\vec{b}\right).$$

Векторларни сонга кўпайтириш ва бўлиш. Векторни бирор m сонга кўпайтириш унинг модулини m марта ўзгартириш демакдир.

$$\vec{c} = m\vec{a} = ma\vec{a}_0 = (ma)\vec{a}_0.$$

Векторни n га бўлиш уни $1/n$ га кўпайтиришдек бажарилади, яъни

$$\vec{d} = \frac{\vec{a}}{n} = \frac{1}{n}\vec{a}.$$

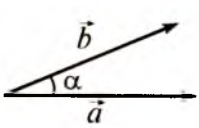
Икки векторнинг скаляр кўпайтмаси. Икки векторнинг скаляр кўпайтмаси деб, бу векторлар узунликлари билан улар орасидаги бурчак косинуси кўпайтмасига тенг бўлган скаляр катталикка айтилади (6- расм).

$$\left(\vec{a} \cdot \vec{b}\right) = a \cdot b \cdot \cos\alpha .$$

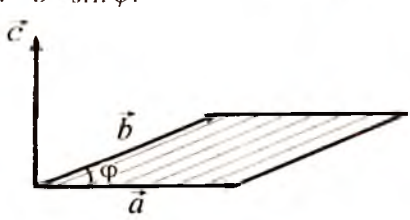
Агар $\alpha = \frac{\pi}{2}$ бўлса, $\cos\alpha = 0$ ва $\left(\vec{a} \cdot \vec{b}\right) = a \cdot b \cdot \cos \pi/2 = 0$ бўлади. Демак, ўзаро перпендикуляр векторларнинг скаляр кўпайтмаси о га тенг бўлади.

Икки векторнинг векториал кўпайтмаси. *Иккита $\vec{a}$ ва $\vec{b}$ векторларнинг векториал купайтмаси* деб, шундай $\vec{c}$ векторга айтиладики, бу вектор $\vec{a}$ ва $\vec{b}$ векторларга перпендикуляр, катталиги эса томонлари $\vec{a}$ ва $\vec{b}$ векторлардан тузилган параллелограмм юзига тенг, йўналиши шундай бўлмоғи керакки, $\vec{c}$ вектор парманинг илгариланма ҳаракати билан мос келса, парма дастасининг ҳаракати $\vec{a}$ вектордан $\vec{b}$ векторга ўтиш йўли билан мос келади, $\vec{c} = \left[\vec{a} \cdot \vec{b}\right]$ (7-расм).

$\vec{c}$ векторнинг модули $c = a \cdot b \cdot \sin\varphi$.



6-расм.



7- расм.

Синов саволлари

1. Скаляр катталиклар деб қандай катталикларга айтилади? Мисоллар келтиринг. 2. Вектор катталиклар деб қандай катталикларга айтилади? Мисоллар келтиринг. 3.Икки вектор қандай қўшилади? 4. Уч ва ундан кўп векторлар қандай қўшилади? 5. Векторларни айириш. 6. Векторларни сонга кўпайтириш. 7. Икки векторнинг скаляр кўпайтмаси. 8. Икки векторнинг скаляр кўпайтмаси қандай катталик бўлади? 9. Икки векторнинг векториал кўпайтмаси. 10. Икки векторнинг векториал кўпайтмаси қандай катталик бўлади?

3- §. Кўчиш ва йўл

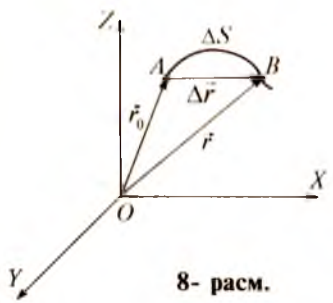
Мазмуни: моддий нуқтанинг ҳаракат траекторияси. Кўчиш ва йўл.

Моддий нуқтанинг ҳаракатини характерловчи катталиклар. Моддий нуқта ҳаракатини характерловчи катталиклардан бири унинг ҳаракат траекториясидир. Моддий нуқта ҳаракатининг траекторияси деб, шу нуқтанинг ҳаракат давомида фазода қолдирган изига айтилади. Траекториянинг шаклига қараб, ҳаракат тўғри чизиқли ёки эгри чизиқли бўлиши мумкин. 8-расмда моддий нуқтанинг ҳаракат траекторияси кўрсатилган.

Траектория ва йўл. Моддий нуқта ҳаракатини A нуқтадан бошлаб кузата бошладик, дейлик. Маълум вақтдан сўнг у B нуқтага келсин. Ҳаракат траекторияси AB қисмининг узунлигига тенг бўлган ΔS скаляр катталикка йўлнинг узунлиги дейилади. Бошқача айтганда, моддий нуқтанинг Δt вақтда босиб ўтган йўли унинг шу вақтда ҳосил қилган *траекториясининг* узунлигига тенг.

Кўчиш ва йўл. Моддий нуқтанинг дастлабки ҳолатидан унинг кейинги ҳолатига ўтказилган $\Delta\vec{r} = \vec{r} - \vec{r}_0$ векторга *кўчиш* дейилади.

Тўғри чизиқли ҳаракатда кўчиш вектори тегишли траектория қисмининг узунлиги билан мос келади ва кўчиш векторининг модули $|\Delta\vec{r}|$ ўтилган йўл ΔS га тенг бўлади.



8- расм.

Синов саволлари

1. Моддий нуқтанинг ҳаракат траекторияси деб нимага айтилади? 2. Йўл деб нимага айтилади? 3. Траектория ва йўл бир-бирига боғлиқми? 4. Кўчиш деб нимага айтилади? 5. Кўчиш векторининг модули қачон йўлга тенг бўлади?

4- §. Тўғри чизиқли текис ҳаракат. Тезлик

Мазмуни: ўртача тезлик вектори; оний тезлик; текис ва нотекис ҳаракатларда тезлик; тезликларни қўшиш.

Тезлик. Биз кундалик ҳаётда „тезроқ“ ёки „секинроқ“ деган тушунчаларни кўп ишлатамиз. Масалан, самолёт поезддан, енгил автомобиль автобусдан, велосипедчи пиёдадан тезроқ ҳаракатланади деган иборалар қўлланилади. Бунда тезроқ ҳаракатланаётган восита бир хил вақт давомида кўпроқ масофага кўчиши назарда тутилади.

Ҳаракатланаётган жисмнинг вақт бирлигида кўчишини (ёки ўтган йўлини) солиштириш мақсадида *тезлик* тушунчаси киритилади.

Тезлик вектори. Шундай қилиб, тезлик ҳаракатланаётган нуқтанинг кўчишига ва бунинг учун сарфланган вақтга боғлиқ катталик экан. Тезлик нафақат ҳаракат тезлиги балки унинг йўналишини ҳам кўрсатадиган вектор катталикдир.

Ўртача тезлик вектори $\vec{v}_{ўр}$ деб, моддий нуқта кўчиш вектори $\Delta\vec{r}$ нинг кўчиш учун сарфланган вақт Δt га нисбати билан аниқланадиган катталикка айтилади.

$$v_{ўр} = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta\vec{t}}. \qquad (4.1)$$

$\vec{v}_{ўр}$ нинг йўналиши кўчиш йўналиши билан мос келади (9-расм).

Оний тезлик. Энди жисмнинг A нуқтада бўлгандаги тезлигини топайлик. Шу мақсадда ҳаракатланиш вақти Δt ни тобора кичрайтира борамиз, яъни $\Delta t \to 0$. (9-расм)

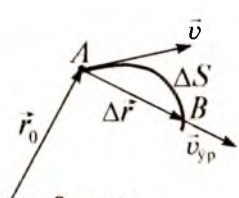
Δt чексиз кичрайтириб борилганда, ўртача тезлик $\vec{v}_{ўр}$ оний тезлик $\vec{v}$ га интилади. Демак, (4.1) га асосан

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \to 0} \vec{v}_{ўр} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt}. \qquad (4.2)$$

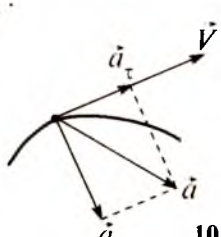
Шундай қилиб, *оний тезлик* ҳаракатланаётган моддий нуқта радиус-векторидан вақт бўйича олинган биринчи тартибли ҳосила каби аниқланар экан.

Оний тезликнинг модули эса йўлдан вақт бўйича олинган биринчи тартибли ҳосиладек аниқланади.

$$v = \frac{ds}{dt}. \qquad (4.3)$$



9- расм.



10- расм.

Текис ҳаракатда тезлик. Моддий нуқтанинг текис ҳаракати деб, бир хил вақт оралиғида бир хил йўл ўтиладиган ҳаракатга айтилади. Демак, йўлнинг барча нуқталаридаги оний тезлик бир хил бўлади ва босиб ўтилган йўл ΔS нинг сарфланган вақт Δt га нисбати каби аниқланади.

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

Бу ҳолда босиб ўтилган йўл

$$\Delta S = v \cdot \Delta t \qquad (4.4)$$

ифода ёрдамида аниқланади.

Нотекис ҳаракатда тезлик. Бу ҳолда моддий нуқта, бир хил вақт оралиғида турли хил йўлларни босиб ўтади ва бунда оний тезликнинг на фақат қиймати, балки йўналиши ҳам ўзгариб туради. Бу ҳолда, нотекис ҳаракатнинг ўртача тезлиги, тушунчаси киритилиши мумкин. У қуйидагича аниқланади:

$$v_{ўр} = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

Автомобиль спидометри оний тезликнинг модулини (катталигини) кўрсатади. Йўл эса

$$\Delta S = v_{ур} \cdot \Delta t \qquad (4.5)$$

ифода ёрдамида аниқланади.

Тезликларни қўшиш. Энди ҳаракатланаётган поезд ичида, ҳаракат қилаётган одамнинг перронга нисбатан ҳаракат тезлигини кўрайлик. Бунда одамнинг поездга нисбатан тезлиги $\vec{v}_0$ бўлса, поезднинг перронга нисбатан тезлиги $\vec{v}_п$ бўлсин. Унда одамнинг перронга нисбатан тезлиги $\vec{v}$ қандай аниқланади? Тезлик вектор катталик эканлигини назарда тутсак, у одамнинг поездга ва поезднинг перронга нисбатан тезликларининг вектор йиғиндисига тенг бўлади.

$$\vec{v} = \vec{v}_п + \vec{v}_0.$$

Бу формула тезликларни қўшиш қонунини ифодалайди.

Тезликнинг СИ даги бирлиги. Тезликнинг СИ даги бирлигини топиш учун тезлик таърифига асосан, моддий нуқта босиб ўтган йўл (масофа) ва вақтнинг СИ даги бирликларидан фойдаланамиз.

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

Шундай қилиб, СИ да тезлик бирлиги сифатида 1 секундда 1 метр йўлни ўтадиган ҳаракат тезлиги қабул қилинган.

Синов саволлари

1. Тезлик тушунчаси нима мақсадда киритилади? 2. Тезлик вектор катталикми ёки скаляр катталикми? 3. Ўртача тезлик вектори қандай аниқланади? 4. Оний тезлик қандай аниқланади? 5. Текис ҳаракатда тезлик. 6. Нотекис ҳаракатда тезлик. 7. Тезликларни қўшиш қонуни. 8. Тезликнинг СИ даги бирлиги. 9. Автомобилнинг спидометри қандай тезликни кўрсатади?

5- §. Тезланиш ва унинг ташкил этувчилари

Мазмуни: ўртача тезланиш вектори; оний тезланиш; тезланишнинг ташкил этувчилари;

Тезланиш. Кундалик ҳаётимизда жисмлар тезлигининг ўзгаришини кўп кузатамиз. Мисол учун, бекатдан бир пайтда, бир хил йўналишда ҳаракатлана бошлаган автобус ва енгил автомобилнинг маълум вақтдан кейинги тезликларини солиштирайлик. Табиийки, енгил автомобиль спидометрининг кўрсаткичи каттароқ бўлади. Демак, иккита транспорт воситаси тезликларининг ўзгариши турлича, уларни солиштириш учун эса тезликнинг ўзгариш тезлигини характерловчи бирор катталикни киритиш зарурияти туғилади. Бу катталик *тезланишдир.*

Ўртача ва оний тезланиш. Тезланиш — тезликнинг катталигини, шунингдек, йўналишининг ўзгаришини характерлайдиган физик катталикдир. Нотекис харакатнинг Δt вақтдаги ўртача тезланиши $\vec{a}_{ўр}$ деб, тезликнинг ўзгариши $\Delta\vec{v}$ нинг Δt га нисбати билан аниқланадиган вектор катталикка айтилади.

$$\vec{a}_{ўр} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}.$$

Агар Δt ни чексиз кичрайтириб борсак, яъни $\Delta t \to 0$, унда моддий нуқтанинг t вақтдаги оний тезланишини топамиз.

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \to 0} \vec{a}_{ўр} = \lim_{\Delta \to 0} \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt}.$$

Шундай қилиб, тезланиш тезликдан вақт бўйича олинган биринчи тартибли ҳосила каби аниқланадиган вектор катталикдир.

Тезланишнинг СИ даги бирлиги. Тезланишнинг таърифига асосан унинг бирлигини қуйидагича аниқлаймиз

$$[a] = \frac{[v]}{[t]} = \frac{1\,\frac{м}{с}}{1с} = 1\,\frac{м}{с^2}.$$

Шундай қилиб, СИ да тезланишнинг бирлиги сифатида тезлигини 1 секундда 1м/с га ўзгартирадиган ҳаракат тезланиши қабул қилинган.

Тезланишнинг ташкил этувчилари. Таърифда қайд этилганидек, тезланиш тезлик ва унинг модули (катталиги) йўналишининг ўзгариши билан характерланади. Демак, тўла тезланиш ($\vec{a}$) тезлик модулининг ўзгариш тезлигини ($\vec{a}_t$) ва йўналишининг ўзгариш тезлигини ($\vec{a}_n$) характерловчи ташкил этувчиларнинг геометрик йиғиндисидан иборат экан (10- расм), яъни

$$\vec{a} = \vec{a}_t + \vec{a}_n.$$

Агар 10- расмдаги учбурчакка Пифагор теоремасини қўлласак тезланишнинг катталиги учун $a = \sqrt{a_t^2 + a_n^2}$ ифодани оламиз.

Бунда $\vec{a}_t$ тезланишнинг — тангенциал, $\vec{a}_n$ — нормал ташкил этувчиларидир.

Тезланишнинг тангенциал ташкил этувчиси. *Тезланишнинг тангенциал ташкил этувчиси* $\vec{a}_t$ тезлик модулидан вақт бўйича олинган биринчи тартибли ҳосиладек аниқланади. У доимо ҳаракат траекториясига уринма бўйлаб йўналган бўлиб, тезлик модулининг ўзгаришини характерлайди.

$$a_t = \frac{dv}{dt}.$$

Тезланишнинг нормал ташкил этувчиси. Тезланишнинг нормал ташкил этувчиси a_n

$$a_n = \frac{v^2}{r}.$$

дек аниқланади. У доимо эгрилик марказидан ҳаракат траекториясига нормал (тик чизиқ) бўйлаб марказга йўналган бўлади. Шунинг учун у марказга интилма тезланиш ҳам дейилади. a_n — тезлик йўналишининг ўзгаришини характерлайди.

a_t=0 қандай ҳаракат?

Бунда икки ҳол бўлиши мумкин:

1) $a_t = 0$, $a_n = 0$, демак, $a = 0$ тўғри чизиқли текис ҳаракат;

2) $a_t = 0$, $a_n \neq 0$, демак, $a = a_n$ эгри чизиқли текис ҳаракат.

Хусусан, $a_n = const$ — айлана бўйлаб текис ҳаракат.

$a_n = 0$ қандай ҳаракат?

1.) $a_n = 0$, $a_t = 0$ ҳолни юқорида кўрдик.

2.) $a_n = 0$, $a_t \neq 0$ — тўғри чизиқли нотекис (ўзгарувчан тезланишли) ҳаракатни билдиради.

Хусусан, $a_n = 0$, $\vec{a}_t = \vec{a} = const$ — тўғри чизиқли текис ўзгарувчан ҳаракатни билдиради.

Бу ҳол кундалик ҳаётимизда кўп учрайди.

Синов саволлари

1. „Тезланиш" тушунчаси нима мақсадда киритилади? 2. Тезланиш вектор катталикми ёки скаляр катталикми? 3. Ўртача тезланиш вектори қандай аниқланади? 4. Оний тезланиш қандай аниқланади? 5. Тезланишнинг ташкил этувчилари ва аниқланиши. 6. Тезлик модулининг ўзгаришини нима характерлайди? 7. Йўналишини-чи? 8. $a_t = 0$; $a_n = 0$ қандай ҳаракат? 9. $a_t = 0$; $a_n \neq 0$-чи; 10. $a_t \neq 0$; $a_n = 0$-чи? 11. Тезланишнинг СИ даги бирлиги.

6- §. Тўғри чизиқли текис ўзгарувчан ҳаракатда тезлик ва йўл формулалари. Ҳаракатни график равишда тасвирлаш

Мазмуни: тўғри чизиқли текис ўзгарувчан ҳаракатда тезлик.

Тўғри чизиқли текис ўзгарувчан ҳаракат деб, тезланишнинг тангенциал ташкил этувчиси ўзгармас бўлган ҳаракатга айтилади, яъни

$$a_t = a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \text{const}. \qquad (6.1)$$

Бунда тўгри чизиқ буйлаб ҳаракатланаётган жисмнинг тезлиги тенг вақтлар оралигида тенг миқдорда ўзгаради.

Δv — тезликнинг Δt вақт давомида ўзгариши — яъни , $\Delta v = v_t - v_0$, бунда v_0 — бошлангич (дастлабки) тезлик, v_t – Δt вақт ўтгандан кейин эришилган тезлик. Биз $v_t = v$ деб олайлик. Шунингдек, вақт оралигини соддароқ қилиб $\Delta t = t$ деб белгиласак, юқоридаги формула қуйидаги кўринишга келади.

$$a = \frac{v - v_0}{t}, \qquad (6.2)$$

бу формуладан кейинги тезлик v ни топсак

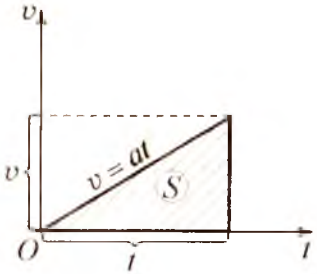
$$v = v_0 + at. \qquad (6.3)$$

Ҳаракат тезланувчан бўлганда а мусбат ишора билан, секинланувчан бўлганда манфий ишора билан олинади.

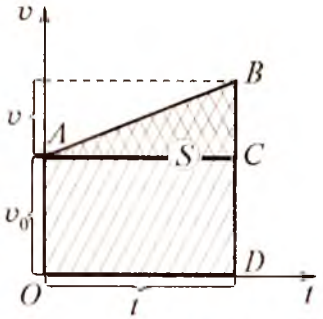
Тўғри чизиқли текис ўзгарувчан ҳаракатда ўртача тезлик $v_{ўр}$ бошланғич v_0 ва охирги v тезликларнинг ўртача арифметик йиғиндиси каби топилиши мумкин.

$$v_{ўр} = \frac{v + v_0}{2}. \qquad (6.4)$$

Тўғри чизиқли текис ўзгарувчан ҳаракатда тезлик графигини чизиш учун ордината ўқига тезлик, абсцисса ўқига вақтни жойлаштирамиз. 11- расмда бошланғич тезлиги нолга тенг бўлган ҳаракатнинг тезлик графиги кўрсатилган. $v_0 = 0$да (6.3) ифода қуйидаги кўринишни олади.



11-расм.



12-расм.

$$v = a_t t.$$

Агар бошланғич тезлик нолдан фарқли бўлса, унда тезлик графиги 12-расмдагидек кўринишни олиши мумкин. Шуни қайд этиш керакки, тезлик графиги ўраб турган юза ўтилган йўлни кўрсатади.

Тўғри чизиқли текис ҳаракатда йўл формуласини топайлик. 11-расмда штрихланган юза v тезликли моддий нуқтанинг t вақтда ўтган йўлини ифодалайди. Учбурчакнинг юзини топиш формуласидан

$$s = \frac{1}{2} v \cdot t = \frac{1}{2} at^2. \qquad (6.5)$$

Энди бошланғич тезлик нолдан фарқли бўлган ҳол учун йўлни ҳисоблайлик (12-расм). Йўл $OABD$ трапециянинг юзига тенг бўлади. Бу юза ўз навбатида, $OACD$ тўртбурчак ва ABC учбурчаклар юзаларнинг йиғиндисига тенг, яъни

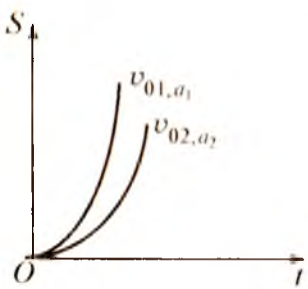
$$s = s_{тўрт} + s_{уч} = v_0 t + \frac{1}{2} at^2.$$

Демак,

$$s = v_0 t + \frac{at^2}{2}. \qquad (6.6)$$

Бу ифодага текис ўзгарувчан ҳаракатда йўл формуласи дейилади.

Йўл графигини аниқлаш учун ордината ўқига йўл s ни, абсцисса ўқига вақт t ни қўямиз.



13-расм.

Йўл формуласи (6.6) t га нисбатан квадрат (t нинг иккинчи даражаси иштирок этган) тенгламадир. Математика курсидан маълумки, квадрат тенгламанинг графиги параболадан иборат бўлади. Биз $t \geq 0$ ҳолни қараймиз. 13-расмдан кўриниб турибдики, тўғри чизиқли текис ўзгарувчан ҳаракатда йўл графиги параболалар оиласидан иборат бўлар экан. Улар v_0 ва a ларнинг қийматлари билан фарқ қилади.

Г. Галилей
(1564 — 1642)

Тўғри чизиқли текис ўзгарувчан ҳаракатга табиатдан мисол. Жисмнинг эркин тушиши ва юқорига тик отилган жисмнинг ҳаракати тўғри чизиқли текис ўзгарувчан ҳаракатга оддий мисол бўла олади.

Италиялик олим Г.Галилей кўплаб тажрибалар ёрдамида бу ҳаракатларни ўрганган ва уларни текис ўзгарувчан ҳаракат эканлигига ишонч ҳосил қилган. У тажрибада *жисмлар ер маркази томон тик йўналган ва катталиги ўзгармас* $g = 9{,}81$ *м/с*^{2} *бўлган тезланиш билан ҳаракат қилишини аниқлаган. Бу тезланишга жисмларнинг эркин тушиш тезланиши дейилади.*

Эркин тушиш. *Эркин тушиш деб жисмларнинг фақатгина оғирлик кучи таъсирида бўладиган ҳаракатига айтилади.*

Эркин тушиш тезланиши ҳамма жисмлар учун бир хилми? *Эркин тушиш тезланиши ҳамма жисмлар учун бир хил. Ер тортиш майдони учун унинг қиймати* $g = 9{,}81$ м/с^2. Шуни қайд этиш керакки, Ернинг қатъий шар шаклида эмаслиги натижасида унинг қиймати $g = 9{,}780$ м/с^2 дан (экваторда) $g = 9{,}832$ м/с^2 гача (қутбларда) ўзгаради. Аммо ҳисоб-китобларда унинг қийматини 9,81 м/с^2 деб олишга келишилган.

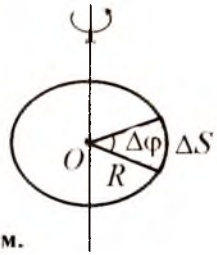
Синов саволлари

1. Тўғри чизиқли текис ўзгарувчан ҳаракат деб қандай ҳаракатга айтилади? 2. Тўғри чизиқли текис ўзгарувчан ҳаракатда тезлик ва йўл формулаларини ёзинг. 3. Тўғри чизиқли текис ўзгарувчан ҳаракатда тезлик ва йўл графикларини чизинг. 4. Тўғри чизиқли текис ўзгарувчан ҳаракатга мисол келтиринг. 5. Эркин тушиш деб қандай ҳаракатга айтилади? 6. Эркин тушиш тезланишнинг қиймати қандай?

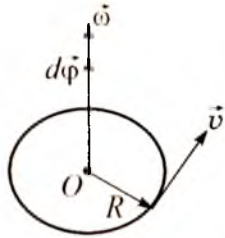
7- §. Эгри чизиқли ҳаракат ва уни тавсифловчи катталиклар

М а з м у н и : бурчак тезлик ва бурчак тезланиш; тўғри чизиқли ва эгри чизиқли ҳаракатларни характерловчи катталиклар орасидаги боғланиш; айланиш частотаси ва даври.

Юқорида айтиб ўтганимиздек, исталган ҳаракатга икки хил: ҳам илгариланма, ҳам айланма ҳаракатларнинг йиғиндиси сифатида қараш мумкин. Биз илгариланма ҳаракат билан батафсил танишиб ўтдик. Энди навбат айланма ҳаракатга келди. Бу ҳаракатларни характерловчи катталиклар бир-бирига жуда ўхшаш бўлмоқлари керак.



14-расм.



15-расм.

Бурчак тезлик. Моддий нуқтанинг бирор R радиусли айлана бўйлаб ҳаракатини кўрайлик (14-расм).

Моддий нуқта айлана бўйлаб ҳаракати давомида маълум нуқтадан такрор-такрор ўтаверади. Демак, кўчиш ва йўл каби катталиклар моддий нуқтанинг айлана бўйлаб ҳаракатини тавсифловчи асосий катталиклар бўла олмайди. Бундай катталик вазифасини моддий нуқтанинг Δt вақтда бурилиш бурчаги $\Delta\varphi$ ўташи мумкин. Жуда кичик бурилиш бурчагини вектор сифатида қараш мумкин. Йўналиши айлана йўналиши билан боғлиқ бўлган бундай векторларга псевдовекторлар ёки аксиал векторлар дейилади. $\Delta\vec{\varphi}$ векторнинг модули бурилиш бурчагидек, йўналиши эса дастасининг айланма ҳаракати моддий нуқтанинг ҳаракати билан мос келадиган парманинг илгариланма ҳаракати йўналишидек бўлади. Демак, илгариланма ҳаракатда кўчиш $\Delta\vec{r}$ га ўхшаш катталик айланма ҳаракатда бурилиш бурчаги $\Delta\vec{\varphi}$, йўл Δs га ўхшаш катталик эса $\Delta\varphi$ бўлади. Унда **бурчак тезлик** моддий нуқтанинг бурилиш бурчагидан вақт буйича олинган биринчи тартибли ҳосиладек аниқланадиган вектор катталикдир.

$$\vec{\omega} = \frac{d\vec{\varphi}}{dt}. \qquad (7.1)$$

$\vec{\omega}$ нинг йўналиши $d\vec{\varphi}$ нинг йўналиши билан мос келади (15 расм).

Бурчак тезликнинг ўртача қиймати

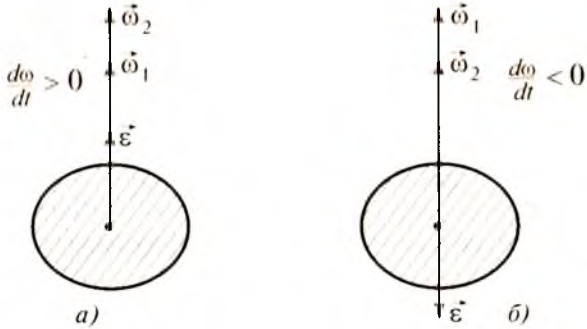
$$\omega_{ур} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} \qquad (7.2)$$

ифода ёрдамида аниқланади. Айлана бўйлаб текис ҳаракатда ҳам бурчак тезлик шу ифода ёрдамида аниқланади.

Бурчак тезликнинг бирлиги. Бурчак тезликнинг СИ да бирлиги қуйидагича аниқланади.

$$[\omega] = \frac{[\varphi]}{[t]} = \frac{1\ \text{рад}}{1\ \text{сек}} = 1\frac{\text{рад}}{\text{сек}} = 1\frac{1}{c} = 1c^{-1}.$$

Бу ерда кўпинча радианнинг ўрнига бир қўйилиши эътиборга олинган. Шундай қилиб, СИ да бурчак тезликнинг бирлиги сифатида 1 секундда 1 радиан бурчакка буриладиган моддий нуқтанинг айланма ҳаракат *бурчак тезлиги* қабул қилинган.



16-расм.

Чизиқли ва бурчак тезликлар орасидаги боғланишни аниқлаш мақсадида 14- расмдан ΔS ни аниқлаб олайлик. Математика курсидан маълумки, ΔS ёйнинг узунлиги бурилиш бурчаги $\Delta\varphi$ ва радиуси R нинг кўпайтмасига тенг, яъни

$$\Delta S = R \cdot \Delta\varphi$$

Унда чизиқли тезликнинг аниқланиш таърифига асосан

$$v = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta S}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{R\Delta\varphi}{\Delta t} = R \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = R\frac{d\varphi}{dt} = R\omega. \qquad (7.3)$$

Бурчак тезланиши. Бурчак тезланиши деб бурчак тезликдан олинган биринчи тартибли ҳосиладек аниқланадиган вектор катталикка айтилади.

$$\vec{\varepsilon} = \frac{d\vec{\omega}}{dt}$$

Бурчак тезланишнинг йўналиши бурчак тезлик ётган ўқ билан мос келади. Тезланиш ортганда $\vec{\varepsilon}$ ва $\vec{\omega}$ векторларнинг йўналишлари бир хил, тезланиш камайганда эса қарама-қарши бўлади (16-расм).

Бурчак тезланишнинг ўртача қиймати

$$\varepsilon_{ўр} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\Delta t}$$

ифода ёрдамида топилади.

Тезланишнинг тангенциал ташкил этувчиси a_t ни чизиқли v ва бурчак тезлик ω орасидаги $v = R\omega$ боғланишдан фойдаланиб аниқлаймиз. Бу ерда айлананинг радиуси R — ўзгармас катталикдир.

$$a_t = \frac{dv}{dt} = \frac{d(\omega R)}{dt} = R\frac{d\omega}{dt} = R\varepsilon. \qquad (7.4)$$

Шунингдек, нормал ташкил этувчиси

$$a_n = \frac{v^2}{R} = \frac{(R\omega)^2}{R} = \frac{R^2\omega^2}{R} = \omega^2 R. \qquad (7.5)$$

Тўғри чизиқли ва эгри чизиқли ҳаракат характеристикалари орасидаги боғланишлар: тўғри чизиқли ҳаракатдаги йўл S ва эгри чизиқли ҳаракатдаги бурилиш бурчаги φ лар орасидаги боғланиш

$$S = R\varphi;$$

чизиқли тезлик v ва бурчак тезлик ω орасидаги боғланиш

$$v = R\omega;$$

тангенциал ва нормал тезланишлар учун ифодалар

$$a_t = R \cdot \varepsilon, \tag{7.6}$$

$$a_n = \omega^2 \cdot R. \tag{7.7}$$

Шунингдек, моддий нуқтанинг айлана бўйлаб текис ўзгарувчан ҳаракатида қуйидаги муносабатлар ўринли:

$$\omega = \omega_0 + \varepsilon t;$$

$$\varphi = \omega_0 t + \frac{\varepsilon t^2}{2},$$

бу ерда ω_0 — бошланғич бурчак тезлик, бурчак тезланиш ε эса йўналишига қараб мусбат ёки манфий қийматларни қабул қилиши мумкин.

Айланиш даври ва айланиш частотаси. Агар $\omega = \text{const}$ бўлса, бундай ҳаракатга текис айланма ҳаракат дейилади ва у айланиш даври билан характерланиши мумкин. **Айланиш даври — *T*** деб, нуқта бир марта тўла айланиб чиқиши учун, яъни 2π бурчакка бурилиш учун кетган вақтга айтилади.

Демак, $\Delta t = T$ да $\Delta\varphi = 2\pi$ бўлади. Унда

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad \text{ёки} \quad T = \frac{2\pi}{\omega}. \tag{7.8}$$

Моддий нуқтанинг вақт бирлигидаги тўла айланишлар сонига **айланиш частотаси** — n дейилади. Демак, айланиш частотаси ва айланиш даври ўзаро тескари катталиклардир

$$n = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} \quad \text{ёки} \quad \omega = 2\pi n. \tag{7.9}$$

Бурчак тезланишнинг бирлиги. Бурчак тезланишнинг таърифига асосан

$$[\varepsilon] = \frac{[\omega]}{[t]} = \frac{1\ \text{с}^{-1}}{1\ \text{с}} = 1\ \text{с}^{-2} \quad \text{бўлади.}$$

Айланиш даври ва частотасининг бирликлари эса $[T] = [t] = 1\text{с}$; $[n] = \frac{1}{[T]} = 1\ \text{с}^{-1}$.

Синов саволлари

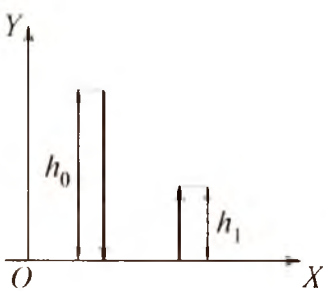
1. Бурчак тезлик қандай аниқланади? 2. Бурчак тезликнинг СИ даги бирлигини ёзинг. 3. Бурчак тезланиш ва унинг йўналиши. 4. Бурчак тезланишнинг СИ даги бирлиги. 5. Тўғри чизиқли ва эгри чизиқли ҳаракатни тавсифловчи катталиклар орасидаги боғланишлар қандай? 6. Айлана бўйлаб текис ҳаракат деб қандай ҳаракатга айтилади? 7. Айланиш даври ва унинг бирлиги. 8. Айланиш частотаси ва унинг бирлиги.

Масала ечиш намуналари

1-масала. Копток 3м баландликдан полга тушди ва полдан қайтиб кўтарилаётганда 1м баландликда тутиб олинди. Коптокнинг ўтган йўли ва кўчишининг катталигини топинг.

Берилган
$h_0 = 3$м;
$h_1 = 1$м;
$S=2$.

$|\Delta r| = ?$



17-расм.

Ечиш: Соддалик учун коптокннинг ҳаракати OY ўқи бўйлаб рўй беради, деб ҳисоблаймиз (17-расм). Коптокнинг босиб ўтган йўли унинг траекториясининг узунлигига тенг. Яъни, $S = h_0 + h_1$.

Коптокнинг кўчиши эса

$$\Delta\vec{r} = \vec{r}_1 - \vec{r}_0.$$

Агар $|\vec{r}_0| = h_0$; $|\vec{r}_1| = h_1$ эканлигини эътиборга олсак, $\Delta r = h_1 - h_0$.

Берилганларни тоиилган ифодаларга қўйсак

$$S = 3\text{м} + 1\text{м} = 4\text{м};$$

$$|\Delta r| = |1\text{м} - 3\text{м}| = |-2\text{м}|.$$

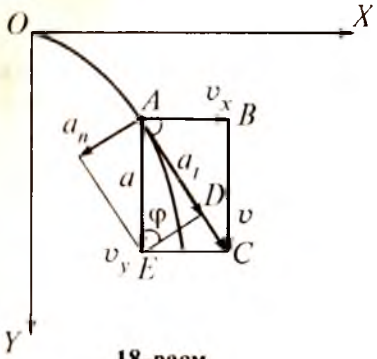
Жавоб: S=4м; $|\Delta r| = 2$м.

2-масала. Тош $v_0 = 30\,\text{м/с}$ бошланғич тезлик билан минорадан горизонтал йўналишда отилди. Ҳаракат бошланганининг иккинчи секунди охирида тошнинг тезлиги v бўлса, тангенциал a_n ва нормал a_n тезланишлари аниқлансин.

Берилган:
$v_0 = 30\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$;
t =2c

$v = ?$
$a_t = ?$
$a_n = ?$

Ечиш: Минорадан горизонтал отилган тошнинг ҳаракати мураккаб ҳаракат бўлиб (18-расм), у горизонтал йўналишда текис (расмда OX ўқ йўналишида) ва вертикал йўналишда эса текис тезланувчан (OY ўқ йўналишида) ҳаракатларнинг йиғиндисидан иборат.



18-расм.

Тошнинг тезлиги эса шу йўналишдаги тезликлар орқали аниқланади.

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}.$$

Бу ерда $v_x = v_0; v_y = gt$. Унда $v = \sqrt{v_0^2 + g^2t^2}$.

Тезланишнинг тангенциал ва нормал ташкил этувчиларини топиш учун ABC ва ADE учбурчакларнинг ўхшашликларидан фойдаланиб, φ бурчакнинг синус ва косинусларни топамиз:

$$\sin\varphi = \frac{v_y}{v} = \frac{a_t}{a} \text{ ёки } a_t = a \cdot \frac{v_y}{v};$$

$$\sin\varphi = \frac{v_x}{v} = \frac{a_n}{a} \text{ ёки } a_n = a \cdot \frac{v_x}{v}.$$

$a = g$ эканлиги ва тезликлар учун топилган ифодалардан фойдаланса к,

$$a_t = g \cdot \frac{g \cdot t}{v} = \frac{g^2 \cdot t}{v};$$

$$a_n = g\frac{v_0}{v}.$$

Берилганларни ва $g = 9{,}81\ м/с^2$ ни топилган ифодаларга қўйиб топамиз

$$v = \sqrt{(30)^2 + (9{,}8)^2\ (2)^2}\ \frac{м}{с} = \sqrt{900 + 4 \cdot 96}\ \frac{м}{с} = \sqrt{1284}\ \frac{м}{с} = 35{,}8\ м/с;$$

$$a_t = \frac{(9{,}8)^2 \cdot 2}{35{,}8}\ \frac{м}{с^2} = 5{,}37\ м/с^2;$$

$$a_n = 9{,}8\frac{30}{35{,}8}\ \frac{м}{с^2} = 8{,}21\ м/с$$

Жавоб: $v = 35{,}8\ м/с$; $a_t = 5{,}37\ м/с^2$; $a_n = 8{,}21\ м/с^2$.

Мустақил ечиш учун масалалар

1) Моддий нуқта координаталари $x_1 = 0$; $y_1 = 2$м бўлган нуқтадан $x_2 = 4$м ва $y_2 = -1$м бўлган нуқтага кўчади. Моддий нуқта босиб ўтган йўлни, кўчишни ва кўчишнинг координата ўқларидаги проекцияларини топинг $\left(s = |\Delta r| = 5\text{м}; |\Delta r_x| = 4\text{м}; |\Delta r_y| = 3\text{м}\right)$.

2) Икки поезд бир-бирига томон 72 км/соат ва 54 км/соат тезлик билан ҳаракатланмоқда. Биринчи поездаги йўловчи иккинчи поезд унинг ёнидан 14 с да ўтганлигини аниқлади. Иккинчи поезднинг узунлиги қанча бўлган экан ($l = 490$ м)?

3) Велосипедчи дастлабки 5 с да 40 м, кейинги 10 с да 100 м ва охирги 5 с да 20 м юрган. Йўлнинг ҳар қайси қисмидаги ва бутун йўлдаги ўртача тезликларни топинг.

$$(v_1 = 8 м/с;\ v_2 = 10\ м/с;\ v_3 = 4\ м/с;\ v_{ур} = 8\ м/с.)$$

4) 0,4 м/с^2 тезланиш билан ҳаракатланаётган автомобилнинг тезлиги қанча вақт ўтгандан кейин 12 м/с дан 20 м/с гача ортади ($t = 20$с)?

5) 72 км/соат тезлик билан ҳаракатланаётган автомобиль тормозланганда 5с дан кейин тўхтади. Автомобилнинг тезланиши(секинланиши) ва тормозланиш йўлини топинг (a=4 м/с^2 ; S=50м)

6) $v = 10$ м/с тезлик билан горизонтал йўналишда отилган жисмнинг учиш узоқлиги отиш баландлигига тенг. Жисм қандай баландликдан отилган. ($h = 20$ м)?

7) Миноранинг баландлиги 57,5 м . Жисм бу минорадан қанча вақтда тушади ва унинг ерга урилиш олдидан тезлиги қанча бўлади. ($t = 3{,}4$ с; $v = 33{,}6$ м/с)?

8) Ернинг суткалик айланишида экватор нуқталарининг чизиқли ва бурчак тезликлари қандай? Ер радиусини $R = 6400$ км, бир кеча-кундузни $t = 24$ соат деб олинг $\left(v = 465\ м/с;\quad \omega = 7{,}3 \cdot 10^{-5}\ с^{-1}\right)$.

II БОБ. ДИНАМИКА

Юқорида қайд этилганидек, динамика жисмларнинг ҳаракат қонунларини бу ҳаракатни вужудга келтирувчи ва ўзгартирувчи сабаблар билан биргаликда ўрганади. Шунинг учун ҳам динамика механиканинг асосий бўлими ҳисобланади. Динамиканинг ўзагини Ньютон қонунлари ташкил этади. Бу қонунлар И.Ньютоннинг 1687 йилда чоп этилган «Натурал философиянинг математик асослари» асарида баён қилинган.

8- §. Ньютоннинг биринчи қонуни

И. Ньютон
(1643 — 1727)

Мазмуни: Ньютоннинг биринчи қонуни; инерциал саноқ системаси; инертлик, масса, куч тушунчалари.

Ньютоннинг биринчи қонуни. Ньютоннинг биринчи қонуни қуйидагича таърифланади: **ҳар қандай жисм, бошқа жисмлар таъсири бошланғич ҳолатини ўзгартиришга мажбур этмагунча, ўзининг тинч ёки тўғри чизиқли текис ҳаракати ҳолатини сақлайди.**

Футбол тўпининг футболчи тепмагунича майдонда тинч туриши, автобус ҳаракати бошланганда орқа томонга, ҳаракатланаётган автобус тўхтаганда олдинга қараб силкинишимиз бу қонуннинг кундалик ҳаётимизда ўринли эканлигини кўрсатади.

Шу билан бирга, Ньютоннинг биринчи «қонуни» инертлик тушунчаси билан чамбарчас боғлиқдир.

Инертлик. *Инертлик деб — жисмнинг тинч ёки тўғри чизиқли текис ҳаракат ҳолатини сақлашга интилиш қобилиятига айтилади.* Шунинг учун ҳам Ньютоннинг биринчи қонунини инерция қонуни ҳам дейишади. Ньютон қонунлари фақат инерциал саноқ системаларида бажарилади.

Инерциал саноқ системаси. Ньютон қонунлари бажариладиган саноқ системаларига *инерциал саноқ системалари* дейилади. Инерциал саноқ системасига нисбатан тинч ёки тўғри чизиқли текис ҳаракат қилаётган ҳар қандай система инерциал саноқ системаси бўлади.

Тажрибалар шуни кўрсатадики, гелиоцентрик (координата бошлари қуёшнинг марказида) системани инерциал саноқ системаси деб ҳисоблаш мумкин. Физикада жуда кўп системалар инерциал са-

ноқ системалари сифатида қаралади, чунки бу ҳолларда йўл қўйиладиган хатоликлар эътиборга олмайдиган даражада кичик бўлади.

Ньютон қонунлари бажарилмайдиган ҳар қандай саноқ системасига *ноинерциал саноқ системаси* дейилади.

Энди динамика учун жуда зарур бўлган масса ва куч тушунчалари билан танишайлик.

Масса. Жисмнинг *массаси* материянинг асосий характеристикаларидан бири бўлиб, унинг инертлик қобилиятини кўрсатади. Бошқача айтганда ўзининг тинч ёки тўғри чизиқли текис ҳаракат ҳолатини сақлашга интилиш қобилияти катта бўлган жисмнинг массаси ҳам каттароқдир. Физикада массани *m* ҳарфи билан белгилаш қабул қилинган. СИ системасида масса бирлиги бир килограмм, яъни [m] = 1 кг. Жисмнинг тинч ёки тўғри чизиқли текис ҳаракат ҳолатини ўзгартириш учун унга ташқаридан таъсир кўрсатилиши керак. Бундай таъсирни характерлаш учун *куч* тушунчаси киритилади.

Куч. Демак, куч таъсирида жисм ўзининг ҳаракат тезлигини ўзгартиради, яъни тезланиш олади. Бунга кучнинг динамик намоён бўлиши дейилади. Шунингдек, куч таъсирида жисм деформацияланиши, яъни шакли ва ўлчамларини ҳам ўзгартириши мумкин. Бунга кучнинг статик намоён бўлиши дейилади. Куч вектор катталик бўлиб, нафақат сон қиймати билан, балки йўналиши ва қайси нуқтага қўйилиши билан ҳам характерланади.

Куч — вектор катталик бўлиб, жисмга бошқа жисмлар ва майдонлар томонидан кўрсатилаётган механик таъсирнинг ўлчови ҳисобланади, ва бу таъсир натижасида жисм ёки тезланиш олади, ёки ўзининг шакли ва ўлчамларини ўзгартиради.

Физикада кучни *F* ҳарфи билан белгилаш қабул қилинган.

Куч таъсирида жисмнинг механик ҳаракати қандай ўзгаради деган савол тугилади. Бу саволга Ньютоннинг иккинчи қонуни жавоб беради.

Синов саволлари

1. И.Ньютон ким ва унинг физика фанидаги хизматлари нималардан иборат? 2.Ньютон қонунларининг аҳамияти нималардан иборат? 3. Ньютоннинг биринчи қонуни. 4. Ньютоннинг биринчи қонунининг ўринлилигини кўрсатувчи учта мисол келтиринг. 5. Инертлик нима. Инертлик ва масса орасидаги боғланиш ва фарқ нимада? 6. Ньютон қонунлари исталган саноқ системасида ҳам бажариладими? 7. Инерциал саноқ системаси деб қандай саноқ системасига айтилади? 8. Инерциал саноқ системаси мавжудми? 9. Куч қандай катталик?

9- §. Ньютоннинг иккинчи қонуни

М а з м у н и : Ньютоннинг иккинчи қонуни; ҳаракат миқдори (импульс); куч импульси; кучлар таъсирининг мустақиллик принципи.

Ньютоннинг иккинчи қонуни. Қуйидагича тажриба ўтказамиз: Дастлаб, ўзгармас массали жисмга (m = const) турли кучларнинг таъсирини кўрайлик. Масалан, футбол тўпини ёш бола, ўспирин ва футболчи тепсин. Табиийки, тўп энг катта тезланишни футболчи тепганида олади, бошқача айтганда, жисмнинг оладиган тезланиши унга таъсир этаётган кучга тўғри пропорционал бўлади, яъни $a \sim F$.

Энди футболчи (F = const) резина коптокни, футбол тўпини ва боксчилар машқ ўтказадиган тўпни тепган ҳолни кўрайлик. Бу тажриба, ўзгармас куч таъсирида жисмнинг оладиган тезланиши унинг массасига тескари пропорционал эканлигини кўрсатади, яъни

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

Агар юқоридаги хулосаларни умумлаштирсак,

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

ни ҳосил қиламиз.

Ёки тезланиш $\vec{a}$ ва куч $\vec{F}$ вектор катталиклар эканлигини эътиборга олсак,

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}. \qquad (9.1)$$

Бу формула Ньютоннинг иккинчи қонунини ифодалайди: *жисмнинг оладиган тезланиши унга таъсир этаётган кучга тўғри, массасига эса тескари пропорционал бўлиб, йўналиши таъсир кучининг йўналиши билан мос келади.*

(9.1) дан $\vec{F}$ ни аниқласак

$$\vec{F} = m\vec{a} \qquad (9.2)$$

(9.2) ифода кучнинг СИ даги бирлиги (ньютон) нимага тенглигини аниқлашга имкон беради.

$$[F] = [m] \cdot [a] = 1\text{кг} \cdot 1\,\frac{\text{м}}{\text{с}^2} = 1\,\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2} = 1\text{Н}.$$

1Н куч деб, 1 кг массали жисмга 1м/с^2 тезланиш бера оладиган кучга айтилади.

Механик ҳаракатнинг ўзгариши ҳақида гапирилганда «ҳаракат миқдори» тушунчасидан ҳам фойдаланилади.

Ҳаракат миқдори (импульс) *Ҳаракат миқдорининг* аҳамиятини аниқлаш учун қуйидаги тажрибаларни ўтказайлик.

Йўлда m = 100 кг массали аравача тинч турган бўлсин. Унга m = 0,01 кг массали υ =100 м/с тезлик билан учиб келаётган копток

урилди. Копток орқага отилиб кетса-да, аравачани қўзғата олмайди. Энди аравачага массаси ўзиникидек, $m = 100$ кг бўлган, $\upsilon = 10$ м/с тезлик билан ҳаракатланаётган иккинчи аравача келиб урилсин. У тинч турган аравачани ҳаракатга келтиради. Демак, аравачани ҳаракатлантириш учун на фақат коптокнинг катта тезлиги, балки ҳам тезлик, ҳам массага боғлиқ бўлган катталик аҳамиятга эга бўлар экан. Бундай катталикка ҳаракат миқдори дейилади.

Жисмнинг ҳаракат миқдори (импульси) деб, жисм массасининг тезлик векторига кўпайтмасига тенг бўлган ва йўналиши тезлик вектори йўналиши билан мос келадиган вектор катталикка айтилади.

$$\vec{P} = m\vec{\upsilon} \tag{9.3}$$

Унинг СИ даги бирлиги $[P] = [m][\upsilon] = 1\text{кг} \cdot 1\frac{\text{м}}{\text{с}} = 1\text{кг}\frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Жисм импульсининг ўзгариши. Ньютоннинг иккинчи қонунига мувофиқ, жисм қандай ҳолатда бўлишидан қатъи назар, фақат куч таъсиридагина жисмнинг тезлиги ўзгариши мумкин, яъни тезланиш олиши мумкин. m массали жисмга t вақт давомида $\vec{F}$ куч таъсир этсин ва унинг тезлиги $\vec{\upsilon}_0$ дан $\vec{\upsilon}$ гача ўзгарсин. Унда жисмнинг тезланишини

$$\vec{a} = \frac{\vec{\upsilon} - \vec{\upsilon}_0}{t} \tag{9.4}$$

кўринишда ёзиш мумкин.

Бу ифода ёрдамида (9.2) формулани қуйидаги кўринишда ёзамиз.

$$\vec{F} = m\vec{a} = \frac{m(\vec{\upsilon} - \vec{\upsilon}_0)}{t}.$$

Бундан

$$\vec{F}t = m\vec{\upsilon} - m\upsilon_0 = \vec{P} - \vec{P}_0 = \Delta\vec{P}$$

ёки

$$\vec{F}t = \Delta\vec{P} \tag{9.5}$$

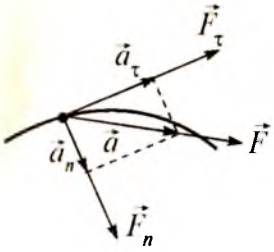
Шундай қилиб, *жисм* импульсининг ўзгариши $\Delta\vec{P}$ шу ўзгаришни вужудга келтирувчи куч импульси дейилувчи $\vec{F}t$ катталикка тенг бўлар экан.

Ньютоннинг иккинчи қонунини импульс ёрдамида ифодалаш мумкинми? Бунинг учун (9.2) ифодани ёзиб, унда $\vec{a} = \frac{d\vec{\upsilon}}{dt}$ эканлигини эътиборга оламиз. Яъни

$$\vec{F} = m\frac{d\vec{\upsilon}}{dt}.$$

Математика курсидан маълумки, ўзгармас катталикни дифференциал белгиси остига киритиб ёзиш мумкин. Классик механикада $m = \text{const}$ бўлганидан

$$\vec{F} = \frac{d(m\vec{\upsilon})}{dt} \tag{9.6}$$



19-расм.

ёки (9.3) га асосан

$$\vec{F} = \frac{d\vec{P}}{dt}.$$

Бу Ньютоннинг иккинчи қонунининг умумийроқ кўринишидир: *жисм импульсининг ўзгариш тезлиги унга таъсир этадиган кучга тенгдир.*

(9.6) ифодага моддий нуқтанинг ҳаракат тенгламаси ёки моддий нуқта илгариланма ҳаракат динамикасининг асосий тенгламаси дейилади.

Кучлар таъсирининг мустақиллик принципи. *Агар моддий нуқтага бир пайтда бир нечта куч таъсир этаётган бўлса, унда ҳар бир куч гўёки бошқа куч моддий нуқтага таъсир этмаганидек, Ньютоннинг иккинчи қонунига мувофиқ тезланиш беради. Бу қоидага кучлар таъсирининг мустақиллик принципи дейилади.*

Бу принципга асосан, кучларни ҳам, тезланишларнинг ташкил этувчилари каби ташкил этувчиларга ажратиш мумкин. Яъни, тезланишнинг тангенциал ташкил этувчиси a_t йўналишига мос равишда ҳаракат йўналишига уринма бўйлаб йўналган тангенциал куч F_t ва тезланишнинг нормал ташкил этувчиси a_n йўналишига мос равишда траектория марказига тик йўналган нормал куч F_n (19-расм).

$a_t = \frac{dv}{dt}$ ва $a_n = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R$ лигидан фойдаланиб, Ньютоннинг иккинчи қонунига асосан

$$F_t = ma_t = m\frac{dv}{dt}, \tag{9.7}$$

$$F_n = ma_n = m\frac{v^2}{R} = m\omega^2 R. \tag{9.8}$$

Агар моддий нуқтага бир нечта куч таъсир этаётган бўлса, унда кучларнинг мустақиллик принципига асосан, Ньютоннинг иккинчи қонунидаги $\vec{F}$ га бу кучларнинг тенг таъсир этувчиси сифатида қаралади.

Синов саволлари

1. Жисм олаётган тезланиш массага ва кучга боғлиқми? 2. Ньютоннинг иккинчи қонуни нимага асосланган? 3. «Ҳаракат миқдори» тушунчасини киритиш нима учун керак? 4. Ҳаракат миқдори ва унинг йўналиши. 5. Куч импульси нима? 6. Кучлар таъсирининг мустақиллик принципи нимага асосланган? 7. Кучларни тенг таъсир этувчиси. 8. Кучнинг ва импульснинг СИ даги бирликлари.

10- §. Ньютоннинг учинчи қонуни

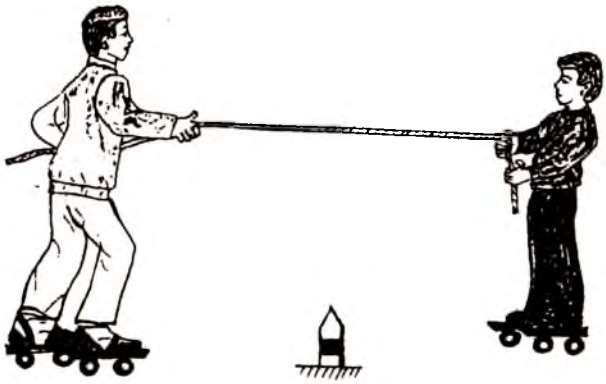
Мазмуни: Ньютоннинг учинчи қонуни. Ньютон қонунларининг барча инерциал саноқ системаларидаги кўриниши.

Ньютоннинг учинчи қонуни. Биз бирор жисмнинг ёки жисмларнинг, бошқа жисмга таъсири ҳақида гапирдик. Табиийки, таъсир кўрсатилаётган жисм ўзини қандай тутади, деган савол туғилади. Тажрибаларнинг кўрсатишича, у ҳам кўрсатилаётган таъсирга тенг ва қарама-қарши йўналган куч билан таъсир кўрсатади. Моддий нуқталар (жисмлар) орасидаги бундай ўзаро таъсир Ньютоннинг учинчи қонуни ёрдамида аниқланади: *моддий нуқталарнинг бир-бирига ҳар қандай таъсири ўзаро таъсир характерига эгадир. Моддий нуқталар таъсир кучларининг катталиклари доимо бир-бирига тенг, йўналишлари қарама-қарши ва уларни туташтирган тўғри чизиқ бўйлаб йўналган.*

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}.$$

Масалан, иккита қайиқ ҳайдовчилари арқоннинг икки томонидан ушлаб турган бўлишсин. Улар орасидаги масофанинг тенг ўртасини белгилаймиз. Энди қайиқ ҳайдовчилардан бири арқонни торта бошласин. Иккинчиси эса арқоннинг учини ушлаб тураверсин. Қайиқлар орадаги масофанинг тенг ўртасида учрашганини кўрамиз. Шу тажрибани роликли конькичилар билан ҳам ўтказиб кўриш мумкин (20-расм). Бу тажрибалар Ньютоннинг учинчи қонуни ўринлилигини кўрсатади.

Ньютон қонунлари барча инерциал саноқ системаларида бир хил кўринишга эгами? Биз юқорида Ньютон қонунлари классик механиканинг асосини ташкил қилишини айтган эдик. Шу билан бирга, бу қонунлар барча инерциал саноқ системаларида бажарилишини ҳам



20-расм.

қайд этдик. Лекин улар барча инерциал саноқ системасида бир хил кўринишга эгами деган саволга тўхталмадик. Тажрибаларнинг кўрсатишича, *Ньютон қонунлари барча инерциал саноқ системаларида бир хил кўринишга эга. Бунга Галилейнинг нисбийлик принципи дейилади.* Бу принципнинг моҳиятига «Махсус нисбийлик назарияси асослари» бобида кенгроқ тўхталамиз.

Энди табиатда мавжуд бўлган баъзи кучлар билан танишайлик.

Синов саволлари

1. Куч таъсир этаётган жисм ўзини қандай тутади? 2. Ньютоннинг учинчи қонуни нимага асосланган? 3. Ўзаро таъсир кучларининг йўналиши қандай бўлади? 4. Ньютоннинг учинчи қонунига учта мисол келтиринг. 5. Ньютон қонунлари барча инерциал саноқ системаларида бир хил кўринишга эгами?

11- §. Ишқаланиш кучлари

Мазмуни: ишқаланиш кучи, унинг намоён бўлиши, вужудга келиш сабаблари ва турлари; ишқаланиш коэффициенти; ишқаланишнинг аҳамияти; жисмнинг қия текисликдаги ҳаракати.

Ишқаланиш кучларининг намоён бўлиши. Столнинг устида турган китобни итариб юборайлик. Китоб столнинг горизонтал сиртида ҳаракатга келади ва бошқа таъсир кўрсатилмаса, ўз ҳаракатини секинлаштириб, маълум вақтдан кейин тўхтайди. Китобнинг тўхташига сабаб нима? Бунга сабаб унинг *стол устида сирпанишига тўсқинлик қилувчи ва бир-бирига тегиб турган сиртлар орасида вужудга келган ишқаланиш кучидир.* Юқоридаги мисол асосида, ишқаланиш кучи жисмларнинг бир-бирларига нисбатан тезликларига боғлиқ эканлигига ишонч ҳосил қиламиз.

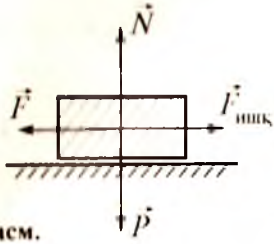
Ишқаланишнинг турлари. Одатда, ташқи ва ички ишқаланишларга ажратишади. *Ташқи ишқаланиш деб, бир-бирига тегиб турган жисмларнинг бири иккинчисининг сиртида ҳаракатланганда сиртлар орасида вужудга келадиган ишқаланишга айтилади.*

Юқоридаги мисол — китоб ва столнинг бир-бирига тегиб турган сиртлари орасидаги ишқаланиш ташқи ишқаланишга мисол бўлади.

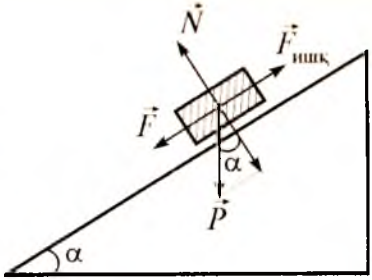
Агар жисмлар бир-бирига нисбатан ҳаракатсиз бўлса — *тинчликдаги ишқаланиш*, сирпанса — *сирпаниш-ишқаланиш* ва ҳаракат турига қараб — *айланма, тебранма* ҳаракатдаги ишқаланишларга ажратилади.

Ички ишқаланиш деб, бир жисмнинг турли қисмлари орасида вужудга келадиган ишқаланишга айтилади. Одатда, ички ишқаланиш суюқликлар ва газларда мавжуд бўлиб, биз уларга кейинроқ тўхталамиз.

Ташқи ишқаланишни вужудга келтирадиган сабаблар. *Ташқи ишқаланишни вужудга келтирадиган асосий сабаб бир-бирига тегиб турган сиртларнинг нотекислиги, яъни ғадир-будурлигидир. Агар сиртлар*



21-расм.



22-расм.

жуда силлиқ бўлса, ишқаланиш турли жисмлар молекулалари орасидаги тортишиш кучлари натижасида вужудга келади.

Тинчликдаги ишқаланиш кучи. Ишқаланиш кучи $F_{ишқ}$ ни аниқлаш учун стол устида турган жисм билан тажриба ўтказайлик (21-расм). Жисмни ҳаракатлантириш учун унга F куч қўйилган. F нинг маълум қийматларигача жисм ҳаракатсиз қолади. Яъни, жисм ва стол сиртлари орасида вужудга келадиган куч жисмнинг стол устида ҳаракатланишига тўсқинлик қилади.

Жисмлар бир-бирига нисбатан ҳаракатланмаганда ҳам уларнинг бир-бирларига тегиб турган сиртлари орасида вужудга келадиган кучга тинчликдаги ишқаланиш кучи дейилади.

F нинг катталиги $\vec{F}_{ишқ}$ нинг катталигига тенг бўлганда стол устидаги жисм ҳаракатлана бошлайди. Демак, $\vec{F} = \vec{F}_{ишқ}$. Лекин, шу билан бирга бу кучлар қарама-қарши йўналгандир.

$$\vec{F} = -\vec{F}_{ишқ}.$$

Ишқаланиш кучи нималарга боғлиқ? Стол устидаги жисмни ҳаракатлантирувчи куч $\vec{F}$ нинг қиймати $\vec{F}_{ишқ}$ нинг қийматига тенг бўлгунча ортиб борар экан. Унда $\vec{F}_{ишқ}$ нинг қиймати нималарга боғлиқ? Тажрибалар ёрдамида аниқланган қонунга мувофиқ: *сирпаниш ишқаланиш кучи $\vec{F}_{ишқ}$ бир жисм иккинчи жисмга кўрсатадиган нормал босим кучи (таянчнинг реакция кучи) N га пропорционалдир, яъни* $F_{ишқ} = \mu \cdot N$. Бу ерда μ — сирпаниш-ишқаланиш коэффициенти дейилиб, жисмларнинг бир-бирига тегиб турган сиртларининг хоссаларига боғлиқ.

Таянчнинг реакция кучи. Горизонтал ҳолатда ётган жисм учун (21-расм) *таянчнинг реакция кучи* $\vec{N}$ ва жисмнинг стол сиртига кўрсатадиган босим кучи (оғирлик кучи) P катталиклари тенг, йўналишлари эса қарама-қаршидир, яъни

$$\vec{P} = -\vec{N}.$$

Лекин бу ифода жисм қия текисликда бўлганда ўринли бўлмайди.

Жисмнинг қия текисликдаги ҳаракати. Қиялик бурчаги α га тенг бўлган *қия текисликдаги жисмнинг ҳаракатини* кўрайлик (22-расм). Жисм ҳаракатга келиши учун

$$F = F_{ишқ} \qquad (11.1)$$

бўлиши кераклиги бизга маълум. Энди α бурчакнинг синуси ва косинусини аниқлаймиз

$$\sin\alpha = \frac{F}{P} \text{ ёки } F = P\sin\alpha, \qquad (11.2)$$

$$\cos\alpha = \frac{N}{P} \text{ ёки } N = P\cos\alpha. \qquad (11.3)$$

Агар (11.2) ва (11.3) ёрдамида $F = F_{ишқ} = \mu \cdot N$ ифодани қайта ёзсак,

$$P\sin\alpha = \mu \cdot N = \mu P\cos\alpha \text{ ёки } \mu = \mathrm{tg}\,\alpha_0, \qquad (11.4)$$

α нинг бирор α_0 қийматидан бошлаб жисм ҳаракатга келади ва унга жисм ҳаракати бошланадиган чегаравий бурчак дейилади.

$$\mu = \mathrm{tg}\alpha_0. \qquad (11.5)$$

Шундай қилиб, ишқаланиш коэффициенти μ жисмнинг қия текислик устида сирпаниш бошланадиган бурчак α_0 нинг тангенси билан аниқланади.

Ишқаланишнинг табиатда ва техникада аҳамияти. Ишқаланишнинг табиатда ва техникада аҳамияти катта. Ишқаланиш бўлмаганда одамлар ва транспорт воситалари ҳаракатлана олмас эди. Бу ҳаракатларни таъминловчи омил одам оёқлари ва ер сирти, машина баллонлари ва ер сирти орасидаги ишқаланиш кучларининг мавжудлигидир. Баъзи ҳолларда ишқаланиш зарар келтириши ҳам мумкин ва бу ҳолларда уни камайтириш зарур. Шу мақсадда ишқаланувчи сиртларга турли ёғлар суртилади ёки подшипникларга ўхшаш техник мосламалардан фойдаланилади.

Синов саволлари

1. Яхмалакда сирпанган боланинг маълум масофани ўтиб тўхтаб қолишига сабаб нима? 2. Ишқаланишнинг намоён бўлишига учта мисол келтиринг. 3. Ишқаланиш кучи нимага боғлиқ? 4. Ишқаланишнинг турлари. 5. Ташқи ишқаланишни нима вужудга келтиради? 6. Тинчликдаги ишқаланиш кучи. 7. Таянчнинг реакция кучи нима? 8. Ишқаланиш коэффициенти. 9. Жисм қия текисликда ҳаракатлана бошлаши учун қандай шарт бажарилиши керак? 10. Ишқаланиш коэффициенти ва қиялик бурчаги орасида қандай боғланиш бор? 11. Одам ва транспорт воситаларининг ҳаракатида ишқаланишнинг аҳамияти. 12. Ишқаланишнинг зарари ҳам борми? Мисоллар келтиринг. 13. Ишқаланишни камайтириш усуллари.

12- §. Ньютон қонунларига оид масалалар ечиш

1 - масала. 60 Н куч жисмга 0,8 м/с² тезланиш беради. Қандай куч бу жисмга 2 м/с² тезланиш беради?

Берилган:
$F_1 = 60$ Н;
$a_1 = 0,8$ м/с²;
$a_2 = 2$ м/с²;
$m = m_1 = m_2$

$F_2 = ?$

Ечиш: Иккинчи ҳол учун Ньютоннинг иккинчи қонунини ёзиб оламиз.

$$F_2 = m_2 a_2 = ma_2.$$

Ушбу ифодадан фойдаланиш учун массанинг қиймати етишмайди ва шунинг учун ҳам биринчи ҳол учун Ньютоннинг иккинчи қонунини ёзамиз

$$F_1 = m_1 a_1 = ma_1.$$

Ушбу ифодадан m ни аниқлаб $m = \frac{F_1}{a_1}$, уни дастлабки формулага қўямиз $F_2 = \frac{F_1 \cdot a_2}{a_1}$.

Берилганлардан фойдаланса:

$$F_2 = \frac{60 \cdot 2}{0,8} H = 150 H.$$

Жавоб: $F_2 = 150$ Н

2 - масала. От 23 т юкни текис тортиб бормоқда. Агар отнинг тортиш кучи 2,3 кН бўлса, ишқаланиш коэффициентини топинг?

Берилган:
$m = 23$ т$=23 \cdot 10^3$ кг
$F = 2,3 = 2,3 \cdot 10^3$ Н

$\mu = ?$

Ечиш: Юк текис тортиши учун отнинг тортиш кучи ва ишқаланиш кучи тенг бўлмоғи керак, яъни $F = F_{ишқ}$.
Агар ишқаланиш кучи $F_{ишқ} = \mu \cdot N$ ва таянчнинг реакция кучи $|\vec{N}| = |\vec{P}| = |m\vec{g}|$ эканлигини эътиборга олсак, $F = \mu N = \mu mg$ ифодани ҳосил қиламиз.

Бунда

$$\mu = \frac{F}{mg}.$$

Берилганлар ва $g = 9,8$ м/с² дан фойдаланса,

$$\mu = \frac{2,3 \cdot 10^3 H}{23 \cdot 10^3 \cdot 9,8 \text{ кг} \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = \frac{2,3}{225,4} = 0,01.$$

Жавоб: $\mu = 0,01$.

Мустақил ечиш учун масалалар

1. Двигателининг тортиш кучи 90кН бўлган 60т массали самолёт қандай тезланиш олиши мумкин (a =1,5 м/с^2)?
2. Массаси 0,5 кг бўлган коптокка 0,02 с давомида зарб берилгандан кейин у 10 м/с тезлик олади. Зарбнинг ўртача кучини топинг ($F_{ўр}$ = 250 Н).
3. Аравача бирор куч таъсирида тинч ҳолатдан ҳаракат бошлаб 40 см йўлни ўтди. Аравачага 200 г юк қўйилганда эса, ўша куч таъсирида, ўша вақт давомида яна тинч ҳолатдан ҳаракат бошлаб 20 см йўл ўтса, аравачанинг массаси қандай бўлади (m = 200 г)?
4. Массаси 2 кг бўлган ёғоч брусок горизонтал жойлашган тахта устида бирлиги 100 Н/м бўлган пружина ёрдамида тортилади. Ишқаланиш коэффициенти 0,3 га тенг. Пружинанинг узайишини топинг (Δx = 6 см).
5. Агар тормозланишдаги ишқаланиш коэффициенти 0,4 га тенг бўлса, 12 м/с тезлик билан ҳаракатланаётган автобус қанча вақтдан кейин тўхтайди (t = 3с)?

III БОБ. САҚЛАНИШ ҚОНУНЛАРИ

Физика — материянинг умумий хоссалари, моддалар ва майдонларнинг ҳаракат қонунларини ўрганишини биз биламиз. Материянинг, яъни моддаларнинг ва майдонларнинг ҳаракати эса макон ва замонда рўй беради. Шундай экан, макон ва замонда рўй берадиган барча жараёнларни маълум тартибга солиб турадиган универсал қонунлар мавжудми деган савол тугилади. Бундай қонунлар мавжуд ва физикада улар *сақланиш қонунлари* дейилади.

У ёки бу назариянинг, тажриба натижаларининг тўгрилиги айнан шу қонунларнинг бажарилишига қараб текширилади.

Бу қонунлар нималарга таяниб киритилган? Модомики, материянинг ҳаракати макон ва замонда рўй берар экан, бу универсал қонунлар ҳам макон ва замонга таянган, яъни уларнинг бирор хоссасига асосланган бўлмоги керак. Бу хоссалар: *маконнинг, яъни фазонинг бир жинслилиги ва изотроплиги, замоннинг, яъни вақтнинг эса бир жинслилигидир.*

Фазонинг бир жинслилиги. *Фазонинг бир жинслилиги* дейилганда унинг барча нуқталарининг тенг кучлилиги тушунилади. Бошқача айтганда, физик жараённинг рўй бериши, тажриба фазонинг қайси нуқтасида ўтказилишидан қатъи назар бир хилда кечади. Ҳаракат миқдорининг (импульсининг) сақланиш қонуни фазонинг бир жинслилигининг натижасидир.

Фазонинг изотроплиги. *Фазонинг изотроплиги* дейилганда унинг барча йўналишларининг тенг кучлилиги тушунилади. Бошқача айтганда, физик жараённинг рўй бериши тажриба фазонинг қайси йўналишида ўтказилишидан қатъи назар бир хилда кечади. Ҳаракат миқдори моментининг (импульс моментининг) сақланиш қонуни фазонинг изотроплигининг натижасидир.

Вақтнинг бир жинслилиги. *Вақтнинг бир жинслилиги* дейилганда унинг ҳар бир онининг тенг кучлилиги тушунилади. Бошқача айтганда физик жараённинг рўй бериши тажрибанинг қачон бошланишига (эрталаб соат саккиздами ёки кечқурун соат ўндами) мутлақо боғлиқ эмас. Энергиянинг сақланиш қонуни вақтнинг бир жинслилигининг натижасидир.

13- §. Импульснинг сақланиш қонуни

Мазмуни: ёпиқ система; ёпиқ системада импульснинг сақланиш қонуни; импульснинг сақланиш қонуни фазонинг бир жинслилигининг натижаси эканлиги; реактив ҳаракат.

Ёпиқ система. Импульснинг сақланиш қонуни ёпиқ системада қаралади. Ёпиқ система тушунчаси ҳам физикада кенг қўлланиладиган моделлардан биридир.

Дастлаб, бир бутун деб қараш мумкин бўлган моддий нуқталар мажмуасини кўрамиз ва уни механик система деб атаймиз. Механик системага кирувчи моддий нуқталар орасидаги таъсир кучлари ички кучлар дейилади. Механик системага кирувчи моддий нуқталарга ташқи жисмлар томонидан кўрсатиладиган таъсир кучларига эса *ташқи кучлар* дейилади. Ташқи кучлар таъсир этмайдиган механик системага *ёпиқ система* дейилади.

Ёпиқ система учун импульснинг сақланиш қонуни. Бунинг учун ёпиқ системага кирувчи ҳар бир моддий нуқтанинг импульсини ёзиб олайлик. Моддий нуқтанинг импульси

$$\vec{P} = m\vec{\upsilon} \qquad (13.1)$$

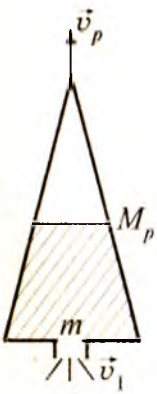
кўринишдаги вектор катталик билан аниқланиши бизга маълум. Ёпиқ системанинг тўла импульси $\vec{P}$ системага кирувчи ҳар бир моддий нуқта импульсларининг $m_1\vec{\upsilon}_1, m_2\vec{\upsilon}_2, \ldots, m_1\vec{\upsilon}_n$ геометрик йиғиндисидан иборат бўлади, яъни

$$\vec{P} = m_1\vec{\upsilon}_1 + m_2\vec{\upsilon}_2 + \ldots + m_n\vec{\upsilon}_n = \sum_{i=1}^{n} m\vec{\upsilon}. \qquad (13.2)$$

Ёпиқ система учун

$$\vec{P} = \sum_{i=1}^{n} m_i\vec{\upsilon}_i = const. \qquad (13.3)$$

Бу ифода импульснинг сақланиш қонунини ифодалайди. *Ёпиқ системанинг импульси сақланади, яъни вақт ўтиши билан ўзгармайди.*



23-расм.

Импульснинг сақланиш қонуни табиатнинг асосий қонунларидан бири бўлиб, у на фақат классик механикада, балки физиканинг барча бўлимларида ҳам тўла бажарилади. Ҳозиргача табиатда импульснинг сақланиш қонуни бажарилмаган жараён кузатилмаган.

Реактив ҳаракат. Импульснинг сақланиш қонуни кўплаб техник масалаларни ечишга имкон беради. Бунга энг яхши мисол реактив ҳаракатдир. *M p* массали ракета учиш майдончасига келтириб қўйилган. Ракета тинч ҳолатда, яъни $\upsilon_p = 0$. Демак, импульси ҳам нолга тенг. Энди ёниш бўлмасидаги ёқилғи ёқилади. Ёниш бўлмасида юқори босимгача қизиган газ оқими ракета соплосидан $\vec{\upsilon}_1$ тезлик билан отилиб чиқади. Натижада ракета $\vec{\upsilon}_p$ тезлик билан ҳаракатлана бошлайди. Ракета соплосидан отилиб чиқадаган газ массаси *m*

ракета массаси M дан жуда кичик ($m << M$), ҳаракат бошлангандан кейин ҳам ракетанинг массаси M ўзгармай қолаверади, деб ҳисоблайлик (23-расм).

Энди ракета — газ — ёқилғи ёпиқ системаси учун импульснинг сақланиш қонунини ёзамиз ва бунда, ёниш бўлмасидаги ёқилғи ёнгунча система импульси нолга тенглигини эътиборга оламиз.

$$M\vec{v}_p + m\vec{v}_1 = 0.$$

Бундан $M\vec{v}_p = -m\vec{v}_1$ ёки ракета тезлигининг модули учун $\vec{v}_p = \frac{m}{M}v_1$ ифодани ҳосил қиламиз.

Реактив ҳаракат юқоридаги принципга, яъни ёпиқ системадаги жисмларнинг бир-бирини ҳаракатга келтиришига асосланган.

Синов саволлари

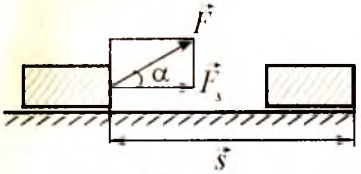
1. Сақланиш қонунлари қандай вазифани бажаради? 2. Сақланиш қонунлари нималарга асосланиб киритилган? 3. Маконнинг ва замоннинг қандай хусусиятлари мавжуд? 4. Фазонинг бир жинслиги деганда нима тушунилади ва қандай сақланиш қонуни унинг натижасидир? 5. Фазонинг изотроплиги деганда нима тушунилади ва қандай сақланиш қонуни унинг натижасидир? 6. Вақтнинг бир жинслилиги деганда нима тушунилади ва қандай сақланиш қонуни унинг натижасидир? 7. Ёпиқ система деб қандай системага айтилади? 8. Импульснинг сақланиш конуни. 9. Реактив ҳаракат қандай қонунга асосланган? 10. Ракетанинг тезлиги нималарга боғлиқ?

14- §. Энергия, иш ва қувват

Мазмуни: энергия; механик иш; қувват; иш ва қувват бирликлари.

Энергия. Энергия — турли шаклдаги ҳаракатлар ва ўзаро таъсирларнинг универсал ўлчовидир (у юнонча energeia — таъсир сўзидан олинган). Материя ҳаракатининг шаклига қараб энергия ҳам турлича бўлади. Масалан, механик, иссиқлик, электромагнит, ядро энергиялари ва ҳоказолар. Ўзаро таъсир натижасида бир турдаги энергия бошқасига айланади. Лекин бу жараёнларнинг барчасида, биринчи жисмдан иккинчисига берилган энергия (қандай шаклда бўлишидан қатъи назар) иккинчи жисм биринчисидан олган энергияга тенг бўлади.

Ньютоннинг иккинчи қонунидан маълумки, жисмнинг механик ҳаракатини ўзгартириш учун унга бошқа жисмлар томонидан таъсир бўлмоғи керак. Бошқача айтганда, бу жисмлар ўртасида энергиялар алмашуви рўй беради. Механикада ана шундай энергия алма-



24-расм.

шувини тавсифлаш учун *механик иш* тушунчаси киритилган ва у физикада *A* ҳарфи билан белгиланади.

Механик иш. Механик иш деб, кучнинг шу куч таъсирида рўй берган кўчишга скаляр кўпайтмасига тенг бўлган катталикка айтилади, яъни

$$A = \left(\vec{F} \cdot \vec{S}\right) = F \cdot S \cdot \cos\alpha, \qquad (14.1)$$

бу ерда α — куч $\vec{F}$ ва кўчиш $\vec{S}$ орасидаги бурчак (24-расм).

Агар $\cos\alpha = \frac{F_s}{F}$; $F_s = F \cdot \cos\alpha$ эканлигини эътиборга олсак (14.1) қуйидаги кўринишни олади:

$$A = F \cdot S \cdot \cos\alpha = F_s \cdot S \qquad (14.2)$$

бу ерда F_s — кучнинг кўчиш йўналишига проекцияси.

(14.2) ифодага асосланиб, қуйидагича хулоса чиқариш мумкин:

агар $\alpha < \frac{\pi}{2}$ бўлса, $0 < \cos\alpha < 1$ — кучнинг иши мусбат, куч ва кўчиш йўналиши мос келади, $\alpha > \frac{\pi}{2}$ бўлса, $-1 < \cos\alpha < 0$ — кучнинг иши манфий, куч ва кўчиш йўналиши қарама-қарши;

α = 0 да cosα = 0 — кучнинг иши нолга тенг, куч кўчиш йўналишига тик йўналган.

Ишнинг бирлиги. Ишнинг СИ даги бирлиги Жоуль (Ж)

$$[A] = [F] \cdot [S] = 1\text{Н} \cdot 1\text{м} = 1\text{Н} \cdot \text{м} = 1\text{Ж}$$

Ишнинг СИ даги бирлиги сифатида 1 Н кучнинг 1 м масофада бажарган иши қабул қилинган.

Қувват. Ишнинг бажарилиш тезлигини тавсифлаш учун **қувват** деган катталик киритилган ва у *N* ҳарфи билан белгиланган.

Қувват деб, бажарилган ишнинг шу ишни бажариш учун кетган вақтга нисбати билан ўлчанадиган катталикка айтилади.

$$N = \frac{A}{t}.$$

Агар элементар иш $A = F_s \cdot S$ эканлигини эътиборга олсак

$$N = \frac{F_s \cdot S}{t} = F_s \cdot v$$

бўлади.

Қувватнинг бирлиги. Қувватнинг СИ даги бирлигини топиш учун берилган таърифдан фойдаланамиз.

$$N = \frac{[A]}{[t]} = \frac{1\text{Ж}}{1\text{с}} = 1\text{вт}.$$

Бу бирлик — ватт (Вт) дейилади.

Қувватнинг СИ даги бирлиги сифатида 1с да 1 Ж иш бажарадиган қурилманинг қуввати қабул қилинган.

Синов саволлари

1. Энергия нима? 2. Энергиянинг турлари ва улар нимага асосан турланади? 3. Механик иш тушунчаси нима мақсадда киритилган? 4. Механик иш қандай аниқланади? 5. Механик иш куч ва кўчиш орасидаги бурчакка боғлиқми? 6. Ишнинг СИ даги бирлиги. 7. Қувват деб нимага айтилади? 8. Қувватнинг СИ даги бирлиги.

15- §. Механик энергия

Мазмуни: механик энергия; кинетик ва потенциал энергиялар; кўтариб қўйилган жисмнинг потенциал энергиялари; энергияси бирликлари.

Механик энергия. Механик энергия деб механик ҳаракатларнинг ва ўзаро таъсирларнинг миқдорий ўлчовига айтилади. Системанинг ҳолатига қараб кинетик ва потенциал энергиялар бўлади.

Кинетик энергия. Системанинг кинетик энергияси деб унинг механик ҳаракат натижасида оладиган энергиясига айтилади. m массали жисм F куч таъсирида ҳаракатга келади ва v тезлик олади.

Натижада унинг энергияси куч бажарган ишга тенг миқдорда ортади. v тезлик билан ҳаракатланаётган m массали жисм

$$E_k = \frac{mv^2}{2} \qquad (15.1)$$

кинетик энергияга эга бўлади.

Жисмнинг кинетик энергияси унинг массаси ва тезлиги квадрати кўпайтмасининг иккига бўлинганига тенг.

Потенциал энергия. *Жисмлар системасининг потенциал энергияси деб, уларнинг бир-бирига нисбатан жойлашувига ва улар орасидаги ўзаро таъсир кучларининг характерига боғлиқ бўлган энергияга айтилади.*

Айтайлик, жисмларнинг таъсири бирор майдонда рўй бермоқда. Шу майдонда бажарилган иш, жисмнинг қандай траектория билан ҳаракатланишига эмас, балки унинг бошланғич ва охирги ҳолатларига боғлиқ бўлсин. Бундай майдонга потенциал майдон, ундаги кучларга эса консерватив кучлар дейилади. Потенциал майдондаги ҳар қандай жисм потенциал энергия E_p га эга бўлади.

Ердан *h* баландликдаги жисмнинг потенциал энергияси. Ер сиртидан h баландликка кўтарилган m массали жисмнинг потенциал энергияси

$$E_p = mgh = Ph \qquad (15.5)$$

ифода ёрдамида аниқланади. Баландлик h нолинчи сатҳдан ҳисобланса, унда

$$E_p^0 = 0$$

бўлади.

Бу ерда g — эркин тушиш тезланиши, $P = mg$ — оғирлик кучи.

(15.5) ифодадан кўриниб турибдики, жисмнинг потенциал энергияси жисм оғирлик кучининг h баландликдан тушишда бажарган ишига тенг.

Энергия қандай бирликда ўлчанади? Юқорида кўрганимиздек, бирор система энергиясининг ўзгариши натижасида механик система устида иш бажарилади ва ўз навбатида бу яна энергиянинг ўзгаришига олиб келади. *Шунинг учун механик ишга, энергия алмашинувини тавсифловчи катталик сифатида қаралади.* Юқоридаги хулосага асосланиб, иш ва энергиянинг бирликлари бир хил деган хулосага келиш мумкин. Демак, энергиянинг СИ даги бирлиги Жоуль (Ж) бўлади.

Синов саволлари

1. Механик энергия нима ва унинг турлари ҳақида гапириб беринг. 2. Кинетик энергия деб қандай энергияга айтилади? 3. Потенциал энергия деб қандай энергияга айтилади? 4. Потенциал майдон деб қандай майдонга айтилади? 5. h баландликдаги жисмнинг потенциал энергияси нимага тенг? 6. Потенциал энергия ва огирлик кучининг иши орасида қандай богланиш мавжуд? 7. Ер сиртидаги жисмнинг потенциал энергияси нимага тенг? 8. Энергиянинг бирлиги қандай?

16- §. Энергиянинг сақланиш қонуни

Мазмуни: тўла механик энергия; тўла механик энергиянинг сақланиш қонуни; энергиянинг сақланиш ва айланиш қонуни.

Тўла механик энергия. Системанинг тўла механик энергияси деб, унинг кинетик ва потенциал энергияларининг йигиндисига айтилади

$$E = E_k + E_п. \qquad (16.1)$$

Тўла механик энергия сақланадими? Тўла механик энергия сақланади, яъни вақт ўтиши билан ўзгармайди.

$$E = E_k + E_п = \text{const}. \qquad (16.2)$$

Юқорида таъкидланганидек, энергиянинг сақланиш қонуни вақтнинг бир жинслилиги натижасидир. Мисол учун h баландликдан тушаётган жисмнинг потенциал энергияси унинг оғирлик ку-

чига боғлиқ бўлиб, тажриба қайси вақтда ўтказилишига мутлақо боғлиқ эмас.

Табиатда бир турдаги энергиянинг бошқасига айланиши рўй бериб туради. Бунга ишқаланиш натижасида механик энергиянинг иссиқлик энергиясига айланиши мисол бўлади.

Табиатда энергиянинг сақланиш қонуни бажариладими? Ўтказилган кўплаб тажрибалар, назарий хулосалар энергиянинг сақланиш қонунини қатъий бажарилишини кўрсатади. Фақатгина табиатда энергиянинг бир турдан бошқасига (масалан, механик энергиядан иссиқлик энергиясига) айланиши рўй беради. Шунинг учун ҳам бу қонунга энергиянинг сақланиш ва айланиш қонуни ҳам дейилади. У табиатнинг асосий қонунларидан бўлиб, нафақат макроскопик, балки микро жисмлар системаси учун ҳам ўринлидир. Шундай қилиб, *энергия ҳеч қачон йўқолмайди ҳам, пайдо ҳам бўлмайди. У фақат бир турдан бошқасига айланиши мумкин. Ёпиқ системада тўла энергия сақланади.* Ҳали табиатда энергиянинг сақланиш қонуни бажарилмаган жараён маълум эмас.

Синов саволлари

1. Қандай энергия тўла механик энергия дейилади? 2. Тўла механик энергия сақланадими? 3. Энергиянинг сақланиш қонуни вақтнинг қандай хусусиятининг натижаси? 4. Табиатда энергиянинг сақланиш қонуни бажариладими? 5. Энергиянинг сақланиш ва айланиш қонуни ҳақида нималарни биласиз?

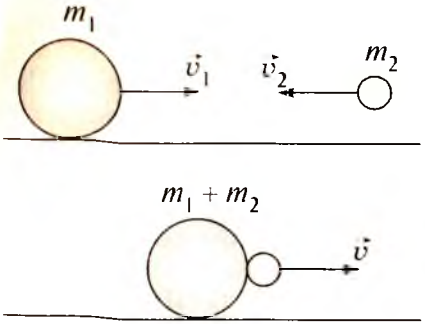
17- §. Жисмларнинг абсолют эластик ва ноэластик урилиши

Мазмуни: урилиш; урилишнинг физикадаги аҳамияти; абсолют эластик ва ноэластик урилишлар.

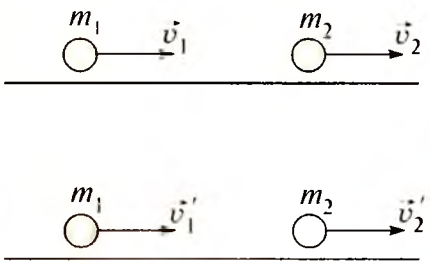
Урилиш деб нимага айтилади. Унинг физикадаги аҳамияти. *Урилиш деб, икки ёки ундан кўп жисмларнинг жуда қисқа вақт давомидаги таъсирлашувига айтилади.* Урилиш табиатда жуда кўп учрайди. Биллиард шарларининг тўқнашуви, одамнинг ерга сакраши, болғача билан михнинг қоқилиши, футболчининг тўп тепиши ва ҳоказолар урилишга мисол бўлади.

Урилиш натижасида жисмларнинг деформацияланишига қараб улар икки турга абсолют эластик ва абсолют ноэластик урилишларга бўлинади.

Абсолют ноэластик урилиш. *Абсолют ноэластик урилиш деб, иккита деформацияланадиган шарларнинг урилишига айтилади.* Тўқнашувдан сўнг шарлар бирлашиб ҳаракат қилишлари мумкин. Пластилин ёки лойдан ясалган шарчаларнинг тўқнашуви бунга мисол бўла олади (25-расм). m_1 ва m_1 массали шарларнинг урилишгача тезлик-



25-расм.



26-расм.

лари мос равишда $\vec{v}_1$ ва $\vec{v}_2$ бўлсин. Урилишдан кейинги тезлик $\vec{v}$ бўлса, импульснинг сақланиш қонунини татбиқ этиб қуйидагини оламиз.

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

Бундан

$$\vec{v} = \frac{m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2}{m_1 + m_2}. \qquad (17.1)$$

Агар шарларнинг массалари тенг бўлса $m = m_1 = m_2$, унда

$$\vec{v} = \frac{(\vec{v}_1 + \vec{v}_2)}{2}. \qquad (17.2)$$

Абсолют ноэластик урилишда механик энергиянинг сақланиш қонуни бажарилмай, унинг бир қисми шарларнинг ички энергиясига айланади.

Абсолют эластик урилиш. *Абсолют эластик урилиш деб, иккита деформацияланмайдиган шарларнинг урилишига айтилади. Бунда шарларнинг урилишдан олдинги кинетик энергиялари, урилишдан кейин ҳам тўлалигича кинетик энергияга айланади.*

Абсолют эластик урилишда импульснинг ва кинетик энергиянинг сақланиш қонунлари бажарилади. m_1 ва m_2 массали шарларнинг урилишгача тезликлари мос равишда $\vec{v}_1$ ва $\vec{v}_2$, урилишдан кейин эса $\vec{v}_1$ ва $\vec{v}_1$ бўлсин. Уларнинг ҳаракат йўналишларини ҳисобга олиб ўнг томонга йўналган ҳаракатни мусбат, чап томонга йўналганини эса манфий ишора билан оламиз (26-расм). Шу ҳол учун импульснинг ва кинетик энергиянинг сақланиш қонунлари қуйидагича бўлади:

$$m_1v_1 + m_2v_2 = m_1v_1' + m_2v_2'. \qquad (17.3)$$

$$\frac{m_1v_1^2}{2} + \frac{m_2v_2^2}{2} = \frac{m_1v_1'^2}{2} + \frac{m_2v_2'^2}{2}. \qquad (17.4)$$

Масала ечиш намуналари

1 - масала. Ўзгармас F куч таъсирида вагон $S = 5$ м йўлни ўтди ва 2м/с тезлик олди. Агар вагоннинг массаси $m = 400$ кг ва ишқаланиш коэффициенти $\mu = 0{,}01$ бўлса, куч бажарган A иш аниқлансин.

Берилган:

$F = \text{const}$;
$S = 5$м;
$\upsilon = 2$ м/с;
$m = 400$ кг;
$\mu = 0{,}01$.

$A = ?$

Ечиш. Куч бажарган иш A, вагонни кўчириш A_0 ва унга кинетик энергия T бериш учун бажарилган ишларнинг йиғиндисига тенг

$$A = A_0 + T.$$

Бу ерда A_0 — ишқаланиш кучига қарши бажарилган иш

$$A_0 = F_{ишк} S = \mu P S = \mu m g S.$$

Бу ерда $F_{ишк} = \mu P$ ва оғирлик кучи $P = mg$ эканлигини эътиборга олдик. Ўз навбатида вагонча олган кинетик энергия

$$T = \frac{m\upsilon^2}{2}.$$

Шундай қилиб, F куч бажарган иш

$$A = \mu m g S + \frac{m\upsilon^2}{2}$$

каби аниқланади. Берилганлардан фойдаланиб

$$A = 0{,}01 \cdot 400 \cdot 9{,}8 \cdot 5Ж + \frac{1}{2} \cdot 400 \cdot 4Ж = 996Ж.$$

Жавоб. $A = 996$ Ж.

2 - масала. $m = 1$т массали босқон $h = 2$ м баландликдан сандонга тушади. Урилиш $\Delta t = 0{,}01$ с давом этади. Урилишининг ўртача кучи $F_{ўр}$ аниқлансин.

Берилган:

$m = 1$ т $= 10^3$ кг;
$h = 2$ м;
$\Delta t = 0{,}01$ с

$F_{ўр} = ?$

Ечиш. Урилиш учун импульснинг сақланиш қонуни қуйидаги кўринишга эга бўлади

$$F_{ўр} \cdot \Delta t = m \cdot \upsilon,$$

бундан

$$F_{ўр} = \frac{m \cdot \upsilon}{\Delta t}.$$

Шунингдек, энергиянинг сақланиш қонунига мувофиқ босқоннинг h баландликда тургандаги потенциал энергияси $E_п = mgh$, сандонга урилаётгандаги кинетик энергияси $F_k = \frac{m\upsilon^2}{2}$ га тенг бўлиши керак, яъни

ёки

$$E_п = F_к$$

$$mgh = \frac{mv^2}{2}.$$

Ушбу ифодадан тезликни топсак,

$$v = \sqrt{2gh}$$

ва $F_{ўр}$ учун топилган ифодага қўйсак,

$$F_{ўр} = \frac{m}{\Delta t} \cdot \sqrt{2gh}$$

ни ҳосил қиламиз. Берилганлар ва $g = 9{,}81$м · с^2 лигидан фойдалансак

$$F_{ўр} = \frac{10^3}{0{,}01}\sqrt{2 \cdot 9{,}81 \cdot 2}\text{Н} = 6{,}3 \cdot 10^5\,\text{Н} = 630\text{кН}$$

Жавоб. $F_{ур} = 630$ кН

Мустақил ечиш учун масалалар

1. 0,3 м/с тезлик билан ҳаракатланаётган 20 т массали вагон 0,2 м/с тезлик билан ҳаракатланаётган 30 т массали вагонни қувиб етади. Агар урилиш ноэластик бўлса, улар ўзаро урилгандан кейин вагонларнинг тезлиги қандай бўлади? ($v = 0{,}24$м/с.)
2. Одам массаси 2 кг бўлган жисмни 1 м баландликка 3 м/с^2 тезланиш билан кўтарганда қанча иш бажаради? ($A = 26$ Ж.)
3. Массаси 6,6 т бўлган космик кема орбита бўйлаб 7,8 м/с тезлик билан ҳаракатланаётган бўлса, унинг кинетик энергияси нимага тенг бўлади? ($T = 200$ ГЖ.)
4. 5 м баландликдан эркин тушаётган 3 кг массали жисмнинг ер сиртидан 2 м баланддаги потенциал ва кинетик энергиялари нимага тенг? ($E_п = 60$ Ж; $E_к = 90$ Ж.)
5. Копток ердан қайтиб $2h$ баландликка кўтарилиш учун уни h баландликдан пастга қандай бошланғич тезлик v_0 билан ташлаш керак? Урилиш абсолют эластик деб ҳисоблансин: $v_0 = \sqrt{2gh}$.
6. Массаси 1 кг ва 2 кг бўлган ноэластик шарлар бир-бирига томон мос равишда 1 м/с ва 2 м/с тезлик билан ҳаракатланмоқда. Тўқнашгандан кейин система кинетик энергиясининг ўзгаришини топинг ($\Delta E_к = 3$Ж).

IV БОБ. ТОРТИШИШ КУЧЛАРИ

Юқорига отилган жисм, дарахтдан узилган олма, қаноти синган қуш Ерга тушишини кузатамиз. Нега шундай, деган савол берамиз. Шу билан бирга, нега Ернинг табиий йўлдоши бўлмиш Ой Ердан узоқлашиб кетмайди? Бундай саволларни кўплаб келтириш мумкин. Табиийки, бу саволларни биздан неча юз йиллар олдин яшаган одамлар ҳам беришган ва тинимсиз изланишлар натижасида маълум хулосаларга ҳам келишган. Бу хулосаларни мантиқан умумлаштириш инглиз физиги И.Ньютонга насиб этган.

18- §. Бутун олам тортишиш қонуни

М а з м у н и: Бутун олам тортишиш қонуни; гравитацион доимийнинг физик маъноси; гравитацион масса тушунчаси.

Бутун олам тортишиш қонуни. Иккита исталган моддий нуқта бир-бирини массаларининг кўпайтмасига тўғри ва орасидаги масофанинг квадратига тескари пропорционал куч билан тортади. Бу кучга гравитация (тортишиш) кучи дейилади.Тортишиш кучи моддий нуқталардан ўтувчи тўғри чизиқ бўйлаб йўналгандир.

$$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}, \qquad (18.1)$$

m_1, m_2 — моддий нуқталарнинг массалари, r — улар орасидаги масофа, G — гравитацион доимий.

Бутун олам тортишиш қонуни моддий нуқта деб олиш мумкин бўлган жисмлар учун ўринлидир.Бошқача айтганда жисмларнинг катталиклари улар орасидаги масофага нисбатан эътиборга олмайдиган даражада кичик бўлиши керак.

Гравитацион доимийнинг физик маъноси. Гравитацион доимийнинг *физик маъносини* аниқлаш учун (18.1) дан G ни топиб оламиз

$$G = \frac{F \cdot r^2}{m_1 \cdot m_2}. \qquad (18.2)$$

Агар $r = 1$м, $m_1 = m_2 = 1$кг деб олсак, G нинг сон жиҳатдан тортишиш кучи F га тенг бўлиб қолишини кўрамиз

$$G = F\frac{\text{м}^2}{\text{кг}^2}.$$

Демак, гравитацион доимий G сон жиҳатдан массалари 1 кг, ораларидаги масофа 1 м бўлган иккита моддий нуқта орасидаги тортишиш кучига тенг. Ердаги жисмлар орасида тортишиш кучла-

рининг мавжудлигини ва гравитацион доимийнинг қийматини биринчи бўлиб аниқлаган киши инглиз физиги Кавендиш ҳисобланади.

Г. Кавендиш
(1731 – 1810)

Бугунги кунда гравитацион доимийнинг қуйидаги:

$$G = 6{,}67 \cdot 10^{-11} \frac{H \cdot m^2}{\text{кг}^2}$$

сон қиймати олинади.

Масса-гравитация (тортишиш) ўлчови сифатида. Биз массани жисмнинг инертлик ўлчови деб таърифлаган эдик. (18.1) ифодада эса у тортишиш ўлчови сифатида намоён бўлмоқда. Яъни жисмларнинг массалари катта бўлса, тортишиш кучи ҳам катта бўлади, ва аксинча.

Жисмларнинг ўзаро тортишиш кучлари орқали аниқланган массасига *гравитацион масса* дейилади. Шунинг учун ҳам, масса материянинг асосий тавсифларидан бири бўлиб, унинг инерцион ва гравитацион хоссаларини аниқлайди.

Бугунги кунда инерт ва гравитацион массалар бир-бирига тенг эканлиги исботланган.Шунинг учун ҳам қисқача масса иборасидан фойдаланиш мақсадга мувофиқ.

Синов саволлари

1. Дарахтдан узилган олма нега Ерга тушади? 2. Бутун олам тортишиш қонуни нима? 3. Бутун олам тортишиш конунига бешта мисол келтиринг. 4. Бутун олам тортишиш қонуни исталган жисмлар учун ўринлими? 5. Гравитацион доимийсининг физик маъноси. 6. Гравитацион доимийсини биринчи бўлиб ким аниқлаган? 7. Гравитацион масса тушунчаси. 8. Инерт ва гравитацион массалар тенгми?

19- §. Тортишиш майдони. Оғирлик кучи ва вазн. Вазнсизлик

Мазмуни: тортишиш майдони ва унинг характеристикалари; оғирлик кучи; жисмнинг вазни; вазннинг ортиши ва камайиши; вазнсизлик.

Тортишиш майдони ва унинг тавсифи. Бутун олам тортишиш қонуни, тортишиш кучи, жисмларнинг массаси ва улар орасидаги масофага боғлиқлигини кўрсатади, лекин бу таъсир қандай амалга ошишини кўрсата олмайди. Тортишиш кучлари ўзаро таъсирлашаётган жисмлар қандай муҳитда бўлишига мутлақо боғлиқ бўлмай, ҳатто вакуумда ҳам мавжуддир. Унда жисмларнинг гравитацион таъсири қандай амалга ошади, деган савол туғилади. *Тажрибаларнинг кўрса-*

тишича, бу таъсир тортишиш майдони ёки гравитацион майдон орқали амалга оширилади. Бу гояга мувофиқ ҳар бир жисмнинг атрофида гравитацион майдон мавжуд. Биз бу майдонни кўрмаймиз, лекин қурилмалар ёрдамида унинг мавжудлигини қайд этиб (Кавендиш тажрибаси), таъсирини, яъни Ерга тортилишимизни сезамиз. Гравитацион таъсир барча муҳитларда ҳам мавжуд ва барча жисмларга таъсир этади. Жисмдан узоқлашган сари унинг таъсири сусая боради. *Гравитацион таъсир жисмлар томонидан вужудга келтирилади ва материя мавжудлигининг кўринишларидан биридир.* Унинг асосий хусусияти шундан иборатки, гравитацион майдонга киритилган m массали жисмга

$$\vec{F} = m\vec{g} \qquad (19.1)$$

тортишиш кучи таъсир этади. $\vec{g}$ тортишиш майдонининг кучланганлиги дейилиб, бирлик массали моддий нуқтага майдон томонидан таъсир этадиган куч билан аниқланади ва йўналиши куч йўналиши билан мос келади.

Шуни таъкидлаш лозимки, гравитацион майдон — потенциал майдон бўлиб, ундаги куч (оғирлик кучи) — консерватив кучдир.

Оғирлик кучи. Юқорида қайд этилганидек, ернинг атрофида ҳам тортишиш майдони мавжуд ва унга киритилган ҳар қандай жисмга $\vec{P}$ оғирлик кучи таъсир этади. Ньютоннинг иккинчи қонунига мувофиқ бу куч таъсирида жисм g тезланиш олади. Демак, ер билан боғлиқ саноқ системасига киритилган ҳар қандай m массали жисмга

$$\vec{P} = m\vec{g} \qquad (19.2)$$

оғирлик кучи таъсир этади. g — эркин тушиш тезланиши, унинг қиймати $g = 9{,}81$ м/с^2 га тенг.

Агар Ернинг ўз ўқи атрофида айланишини эътиборга олмасак, Ернинг сиртида оғирлик ва тортишиш кучлари тенг бўлади, яъни

$$P = mg = F = G\frac{mM}{R^2}, \qquad (19.3)$$

бу ерда M — ернинг массаси, R — жисм ва Ер маркази орасидаги масофа.

Агар жисм Ер сиртидан h баландликда жойлашган бўлса,

$$P = G\frac{mM}{(R_0 + h)^2} \qquad (19.4)$$

бўлади. Бу ерда R_0 — Ернинг радиуси. Демак, Ернинг сиртидан узоқлашган сари оғирлик кучи камая боради.

Жисмнинг вазни. Жисмнинг вазни деб, Ерга тортилиши натижасида вужудга келадиган ва уни эркин тушишдан сақлаб турган таянчга ёки илгакка кўрсатадиган босим кучига айтилади.

Жисмнинг вазни у эркин тушиш тезланишидан фарқли тезланиш билан ҳаракатлангандагина, яъни унга оғирлик кучидан ташқари

бошқа кучлар ҳам таъсир этгандагина намоён бўлади. Бошқа ҳолларда эса у огирлик кучига тенг бўлади.

Вазнсизлик ҳолати. Жисмнинг вазнсизлик ҳолати деб, унинг фақатгина оғирлик кучи таъсиридаги ҳаракат ҳолатига айтилади. Шундай қилиб, Ерга боғланган саноқ системасида оғирлик кучи доимо таъсир кўрсатади, вазн эса жисмга оғирлик кучидан ташқари бошқа кучлар ҳам таъсир этгандагина намоён бўлади. Бу кучлар таъсирида жисм $\vec{g}$ га тенг бўлмаган $\vec{a}$ тезланиш билан ҳаракат қилади. Демак, Ернинг тортиш майдонида жисм тезланиш $\vec{a}$ билан ҳаракатланаётган бўлса, унга оғирлик кучи $\vec{P}$ дан ташқари яна бирор куч $\vec{N}$ ҳам таъсир этади. Ньютоннинг иккинчи қонунига мувофиқ жисм айнан шу кучлар йиғиндиси таъсирида $\vec{a}$ тезланиш олади.

$$\vec{N} + \vec{P} = m\vec{a}. \qquad (19.5)$$

Ушбу ифодадан жисмнинг вазни

$$\vec{P}' = -\vec{N} = \vec{P} - m\vec{a} = m\vec{g} - m\vec{a} = m(\vec{g} - \vec{a}). \qquad (19.6)$$

Агар жисм ҳаракатсиз бўлса, ёки тўғри чизиқли текис ҳаракатланса $\vec{a} = 0$ ва

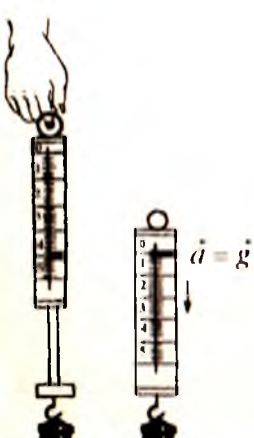
$$\vec{P}' = m\vec{g} \qquad (19.7)$$

бўлади.

Агар жисм огирлик кучи майдонида ҳаракатланаётган бўлса, унда $\vec{a} = \vec{g}$ ва

$$\vec{P}' = 0, \qquad (19.8)$$

яъни жисм вазнсиз ҳолатда бўлади (27-расм).



27-расм.

Космосда эркин ҳаракатланаётган жисмлар учун g=0 лигидан улар вазнсизлик ҳолатида дейилади.

Жисм вазнининг ортиши ва камайиши. Жисмнинг вазни учун ёзилган (19.6) ифодани чуқурроқ таҳлил қилайлик.

$$\vec{P}' = m(\vec{g} - \vec{a})$$

Қавс ичида эркин тушиш тезланиши $\vec{g}$ ва жисмнинг тезланиши $\vec{a}$ нинг векториал айирмаси турибди. Демак, $\vec{a} \neq 0$ дан бошлаб жисмнинг вазни намоён бўла бошлайди ва $m\vec{a}$ га ўзгаради. Яъни вазнсизлана боради.

Жисм $\vec{g}$ йўналишида (яъни пастга қараб) тезланиш билан ҳаракатлана бошласа, унинг вазни $m\vec{a}$ га камаяди.

Лифтда пастга тушаётган киши лифт тезланиш билан ҳаракатланган дастлабки лаҳза-

да, айнан вазнининг камайиши натижасида гўёки ўзини енгиллашгандек сезади.

Энди тезланиш $\vec{a}$ нинг йўналиши эркин тушиш тезланиши $\vec{g}$ нинг йўналишига қарама-қарши бўлган ҳолни қарайлик. Бунда $\vec{a}$ нинг қиймати $\vec{g}$ га қўшилади, яъни

$$\vec{P}' = m(\vec{g} + \vec{a})$$

бўлади. Демак, $a \neq 0$ дан бошлаб жисмнинг вазни $m\vec{a}$ га ортади, яъни вазннинг ортиши кузатилади.

Лифтда юқорига кўтарилаётган киши, лифт тезланиш билан ҳаракатланган дастлабки лаҳзада, айнан вазннинг ортиши натижасида гўёки ўзини оғирлашгандек сезади.

Синов саволлари

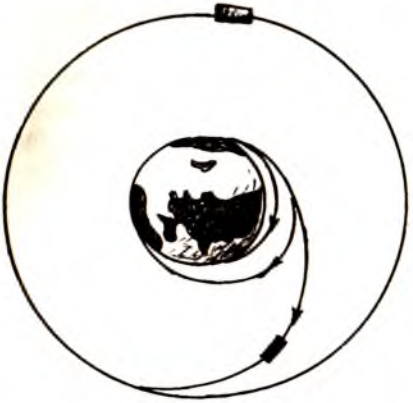
1. Жисмларнинг тортишиши қандай амалга ошади? 2. Тортишиш кучи жисмлар турган муҳитга боғлиқми? 3. Тортишиш майдони қаерда пайдо бўлади? 4. Тортишиш майдони реалликми? 5. Тортишиш майдонининг кучланганлиги қандай аниқланади? 6. Тортишиш майдони қандай майдон? 7. Оғирлик кучи қандай аниқланади? 8. Эркин тушиш тезланишининг мавжудлигига сабаб нима? 9. Оғирлик ва тортишиш кучлари қачон тенг бўлади? 10. Оғирлик кучи баландликка боғлиқми? 11. Жисмнинг вазни қандай аниқланади? 12. Жисмнинг вазни қачон намоён бўлади? 13. Жисмнинг вазнсизлик ҳолати деб қандай ҳолатга айтилади? 14. Космосда эркин ҳаракатланаётган жисм вазнсизлик ҳолатидами? 15. Пастга қараб тезланиш билан ҳаракатланаётган жисмнинг вазни қандай бўлади? 16. Юқори томонга тезланиш билан ҳаракатланаётган жисмнинг вазни-чи?

20- §. Космик тезликлар

М а з м у н и: Космик тезликлар ҳақида тушунча; биринчи, иккинчи ва учинчи космик тезликлар.

Космик тезликлар. Бирор жисмни Ер сиртидан юқорига отсак, маълум баландликка кўтарилиб қайтиб тушади. У Ер сиртига нисбатан ўткир бурчак ҳосил қиладиган қилиб отилса, бирор баландликка кўтарилиб, маълум масофага бориб тушади. Агар жисмнинг тезлигини орттириб борсак, унинг шундай қийматига эришишимиз мумкинки, бу тезликдан бошлаб жисм Ер атрофида бирор айлана орбита бўйлаб ҳаракат қила бошлайди (28-расм). Ана шу тезликдан бошлаб жисмга бериладиган тезликларга космик тезликлар дейилади. Жисмни космосга чиқаришдан олдин қўйилган мақсадга қараб унга турли хил бошланғич тезликлар берилади.

Биринчи космик тезлик. *Биринчи космик тезлик деб, жисмга, у Ер атрофида айланма орбита бўйлаб ҳаракатланиши, яъни Ернинг сунь-*



28-расм.

ий йўлдоши бўлиб қолиши учун бериш зарур бўлган энг кичик тезликка айтилади.

Демак, жисм Ер атрофида R радиусли айлана бўйлаб текис ҳаракатланади. Унга иккита, огирлик кучи тезланиши g ва айланма ҳаракатдаги нормал тезланиши $\frac{v^2}{R}$ таъсир қилади. Бу тезланишлар тенг бўлгандагина жисм айланма орбита бўйлаб текис ҳаракатланиши мумкин.

$$\frac{v^2}{R} = g, \qquad (20.1)$$

бундан

$$v_1 = \sqrt{gR}. \qquad (20.2)$$

Биринчи космик тезликни ҳосил қиламиз. Жисм Ер сиртидан унча баландда эмас деб ҳисоблаб, R нинг ўрнига Ер радиусининг қийматини ва эркин тушиш тезланишининг қийматини (20.2) га қўйиб топамиз.

$$v_1 = 7{,}9 \cdot 10^3 \text{ м/с} = 7{,}9 \text{ км/с}.$$

Иккинчи космик тезлик. *Иккинчи космик тезлик деб, жисмга, у Ернинг тортиш майдонини енгиб, Қуёш атрофида парабола шаклидаги орбита бўйлаб ҳаракатланиши, яъни Қуёшнинг суньий йўлдошига айланиб қолиши учун бериш зарур бўлган энг кичик тезликка айтилади.*

Иккинчи космик тезлик қуйидаги ифода ёрдамида аниқланади:

$$v_2 = \sqrt{2gR} = 11{,}2 \cdot 10^3 \text{ м/с} = 11{,}2 \text{ км/с}$$

Учинчи космик тезлик. *Учинчи космик тезлик деб, жисмга қуёшнинг тортиш майдонини енгиб, Қуёш системасини тарк этиши учун Ерда берилиши зарур бўлган энг кичик тезликка айтилади.*

Учинчи космик тезликнинг қиймати

$$v_3 = 16{,}7 \cdot 10^3 \text{ м/с} = 16{,}7 \text{ км/с}$$

га тенг.

Синов саволлари

1. Қандай тезликларга космик тезликлар дейилади? 2. Биринчи космик тезлик деб қандай тезликка айтилади? 3. Биринчи космик тезлик қандай аниқланади? 4. Биринчи космик тезлик нимага тенг? 5. Иккинчи космик тезлик деб қандай тезликка айтилади? 6. Иккинчи космик тезлик нимага тенг? 7.Учинчи космик тезлик деб қандай тезликка айтилади? 8.Учинчи космик тезлик нимага тенг?

Масала ечиш намуналари

1-масала. Тортишиш майдонининг Ер сиртидан h=1000 км баландликдаги кучланганлиги g аниқлансин. Ернинг радиуси ва Ер сиртидаги эркин тушиш тезланиши маълум деб олинсин.

Берилган.

$h = 1000$ км $= 10^6$ м;

$g_{ер} = 9{,}8$ м/с^2;

$R_{ер} = 6{,}37 \cdot 10^6$ м.

$g = ?$

Ечиш. Ернинг тортишиш майдони кучланганлиги $g = \dfrac{F}{m}$ ифода билан аниқланади. Бу ерда m Ер сиртидан h баландликда, синалаётган жисмнинг массаси. Шу жисм ва Ер орасидаги тортишиш кучи

$$F = G\frac{mM_{ер}}{\left(R_{ер} + h\right)^2}.$$

Куч учун топилган ифодани ўрнига қўйиб

$$g = G\frac{M_{ер}}{\left(R_{ер} + h\right)^2} = \left(G\frac{M_{ер}}{R_{ер}}\right)\frac{R_{ер}^2}{\left(R_{ер} + h\right)} = g_{ер}\frac{R_{ер}^2}{\left(R_{ер} + h\right)^2}.$$

Бу ерда $g_{ер} = G\dfrac{M_{ер}}{R_{ер}^2}$ эканлиги эътиборга олинди.

Берилганлар ёрдамида

$$g = 9{,}8 \cdot \frac{(6{,}37 \cdot 10^6)^2}{(6{,}37 \cdot 10^6 + 10^6)}\frac{\text{Н}}{\text{кг}} = 7{,}3\frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

Жавоб: g=7,3 Н/кг

2-масала. Ернинг радиуси Ойнинг радиусидан n=3,66 марта, Ернинг зичлиги Ойнинг зичлигидан $к$ = 1,66 марта катта. Агар Ер сиртидаги эркин тушиш тезланиши g ни маълум деб ҳисобласак, Ой сиртидан эркин тушиш тезланиши $g_{ой}$ аниқлансин.

Берилган:

$n = R_{ер}/R_{ой} = 3{,}66$;
$k = \rho_{ер}/\rho_{ой} = 1{,}66$;
$g = 9{,}8$ м/с^2.

———————

$g_{ой} = ?$

Ечиш. Маълумки, Ер сиртидаги эркин тушиш тезланиши қуйидаги ифода билан аниқланади:

$$g = G\frac{M_{ер}}{R_{ер}^2}$$

Шунингдек, Ой сиртидаги эркин тушиш тезланиши

$$g_{ой} = G\frac{M_{ой}}{R_{ой}^2}$$

Агар топилган ифодаларни ҳадма-ҳад бўлсак ва $M = \upsilon \cdot \rho = 4/3 \cdot \pi R^3 \cdot \rho$ эканлигини назарда тутсак

$$\frac{g_{ой}}{g} = \frac{M_{ой}}{M_{ер}}\frac{R_{ер}^2}{R_{ой}^2} = \frac{\frac{4}{3}\pi R_{ой}^2\rho_{ой}}{\frac{4}{3}\pi R_{ер}^3 \cdot \rho_{ер}}\frac{R_{ер}^2}{R_{ой}^2} = \frac{1}{\left(\frac{R_{ер}}{R_{ой}}\right)\left(\frac{\rho_{ер}}{\rho_{ой}}\right)} = \frac{1}{n \cdot k}.$$

Бундан

$$g_{ой} = \frac{g}{n \cdot k}.$$

Берилганлар ёрдамида топамиз:

$$g_{ой} = \frac{9{,}8}{3{,}66 \cdot 1{,}66}\frac{м}{с^2} = 1{,}61 м / с^2.$$

Жавоб. $g_{ой} = 1{,}61$ м/с^2.

Мустақил ечиш учун масалалар

1. Космик кема Ер сиртидан қанча масофага узоқлашганда Ерга тортилиш кучи Ер сиртидагига қараганда 100 марта кичик бўлади? ($h = 9\ R_{ер}$.)
2. Ер радиусининг ярмига тенг баландликда эркин тушиш тезланиши қандай бўлади? ($g_h = 4{,}4$ м/с^2.)
3. Останкино телеминорасидаги лифт 15 с давомида 7 м/с тезликка эришади. Лифтнинг тўхташига ҳам шунча вақт кетади. Массаси 80 кг бўлган одамнинг вазни ҳаракат бошида ва охирида қанча ўзгаради? ($\Delta P = \pm 37$Н.)
4. Ой сирти яқинидаги биринчи ва иккинчи космик тезликларнинг қийматлари ҳисоблансин. ($\upsilon_1 = 1{,}68$ км/с; $\upsilon_2 = 2{,}37$ км/с.)

V БОБ. ҚАТТИҚ ЖИСМЛАР МЕХАНИКАСИ

Механикада кенг қўлланиладиган моделлардан бири абсолют қаттиқ жисм тушунчаси, деб таъкидланган эди.

Абсолют қаттиқ жисм деб умуман деформацияланмайдиган ва ҳар қандай шароитда ҳам зарралари орасидаги масофа ўзгармай қоладиган жисмга айтилади.

Биз юқорида солиштириб ўрганишнинг аҳамияти ҳақида фикр юритган эдик. Бизга нотаниш ва ёнимизда бўлмаган кишини таништирмоқчилар. Унда бўйи-басти буникига, кўзи-қоши эса уникига, гап-сўзлари эса бошқаникига ўхшаш, деб биз билган кишиларга ўхшатадилар. Натижада номаълум одам ҳақида солиштириш ёрдамида маълум тасаввурга ёки билимга эга бўламиз. Шунингдек, айтайлик бирор физик масалани ечмоқдамиз. Уни ечишда олдин ечган масаламиздан чиқарилган хулосалардан фойдаланса, яъни солиштириб ечсак, бу ишимизни анча осонлаштиради. Энди қаттиқ жисм айланма ҳаракат динамикасини илгариланма ҳаракат динамикаси билан солиштириб ўрганамиз.

21- §. Инерция ва куч моментлари. Қаттиқ жисм айланма ҳаракати динамикасининг тенгламаси

М а з м у н и : айланма ҳаракат; айланма ва илгариланма ҳаракат кинематикаси катталикларини солиштириш. Инерция ва куч моментлари; айланма ҳаракат динамикасининг тенгламаси.

Айланма ҳаракат. Илгариланма ҳаракат деб ҳаракатланаётган жисмнинг ҳар бир нуқтасидан ўтказилган тўғри чизиқ ҳаракат давомида дастлабки ҳолатига параллел қоладиган ҳаракат бўлишини биз биламиз (1- расм).

Айланма ҳаракатда эса, жисмнинг барча нуқталари маркази айланиш ўқидан ўтувчи айланалардан иборат траекториялар бўйлаб ҳаракатланади (2-расм). *Кўрилаётган нуқтадан айланиш ўқигача бўлган масофа R ҳарфи билан белгиланиб радиус- вектор ёки радиус дейилади.* Айнан шу катталик илгариланма ва айланма ҳаракат механикаси катталикларини солиштиришда муҳим аҳамият касб этади.

Илгариланма ва айланма ҳаракат кинематикаси катталикларини солиштириш

Илгариланма ҳаракат	Ёзилиши	Айланма ҳаракат	Белгиланиши	Ҳаракатлар орасидаги муносабат	
Йўл	S	Бурилиш бурчаги	φ	$S = R\varphi$	$\varphi = S/R$
Чизиқли тезлик	$v = \frac{ds}{dt}$	Бурчак тезлик	$\omega = \frac{d\varphi}{dt}$	$v = R\omega$	$\omega = \vartheta/R$
Чизиқли тезланиш (тангенциал)	$a_t = \frac{dv}{dt}$	Бурчак тезланиш	$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt}$	$a_t = R\varepsilon$	$\varepsilon = \frac{a_t}{R}$

Шундай қилиб, илгариланма ва айланма ҳаракат кинематикаларини тавсифловчи тегишли катталиклар радиус R орқали боғланган.

Инерция моменти. Айланма ҳаракат динамикасининг асосий катталикларини илгариланма ҳаракат динамикаси катталикларидан фарқлаш учун момент сўзини қўшиб ёзамиз. Илгариланма ҳаракат динамикасида киритган асосий тушунчаларимиздан бири жисмнинг массаси тушунчаси эди.Жисмнинг массаси (m) — унинг инертлигини (инерцияси мавжудлиги) тавсифловчи катталик.Айланма ҳаракатда масса бу вазифани бажара олмайди.Шунинг учун ҳам унинг ўрнига жисмни ташкил қилган нуқталардан айланиш ўқигача бўлган масофаларни (r_i) ўз ичига олган ва *илгариланма ҳаракатда масса бажарадиган вазифани бажарадиган инерция моментидан фойдаланилади.* (Масса моменти деган тушунча ишлатилмайди). *Жисмнинг айланиш ўқига нисбатан инерция моменти деб жисм ҳар бир моддий нуқтаси массасининг айланиш ўқигача бўлган масофа квадратига кўпайтмаларининг йиғиндисига тенг бўлган физик катталикка айтилади,* яъни

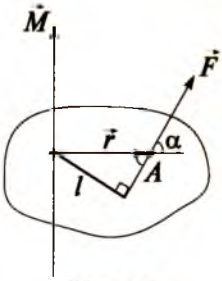
$$J = \sum_{i=1}^{n} m_i r_i^2 . \qquad (21.1)$$

Бунда m_i — i- нуқтанинг массаси, r_i — нуқтадан айланиш ўқигача бўлган масофа. Инерция моменти ҳам масса каби скаляр катталик. СИ даги бирлиги 1кг · м²

$$|J| = |m|\,|r^2| = 1\text{кг} \cdot 1\text{м}^2 = 1\text{кг} \cdot \text{м}^2.$$

Жисмнинг шакли ва айланиш ўқи қаердан ўтганлигига қараб инерция моментлари турлича бўлади.

Куч моменти. Вектор катталик — куч жисмлар ва майдонлар механик таъсирининг ўлчови бўлиб, натижада жисм маълум тезланиш олади. Айланма ҳаракатда эса куч бу вазифани бажара олмайди. Мисол учун, эшикнинг айланиш ўқига қанчалик катта куч қўйилмасин уни ҳаракатлантириб бўлмайди.Демак, бундай ҳаракатда нафақат куч, балки унинг айланиш ўқидан қандай масофага қўйилгани ҳам аҳамиятга эгадир.



29-расм.

Илгариланма ҳаракат динамикасида куч бажарадиган вазифани айланма ҳаракатда куч моменти бажаради.

Ҳаракатсиз ўққа нисбатан куч моменти деб, айланиш ўқидан куч қўйилган нуқтага ўтказилган радиус-вектор $\vec{r}$ нинг куч $\vec{F}$ га векториал купайтмаси билан аниқланадиган физик катталикка айтилади, яъни

$$\vec{M} = \left[\vec{r} \cdot \vec{F}\right] \tag{21.2}$$

Бу ерда $\vec{r}$ — айланиш ўқидан куч қўйилган нуқтагача бўлган радиус-вектор (29-расм).

Куч моментининг модули

$$M = F \cdot r \cdot \sin\alpha = F \cdot l, \tag{21.3}$$

l — куч елкаси, куч таъсир чизиғи билан айланиш ўқигача бўлган энг қисқа масофага тенг, α — куч $\vec{F}$ ва радиус-вектор $\vec{r}$ лар орасидаги бурчак: $r \sin\alpha = l$. Куч моменти вектор катталик. Унинг СИ даги бирлиги 1Н.м.

$$[M] = [F][l] = 1\text{Н} \cdot 1\text{М} = 1\text{Н} \cdot \text{М}.$$

Айланма ҳаракат динамикасининг тенгламаси. Энди илгариланма ҳаракат динамикасининг тенгламаси $F=ma$ асосида мос катталиклар ёрдамида **айланма ҳаракат динамикасининг тенгламасини** ёзамиз. Айланиш ўқи инерция марказидан ўтган деб, ҳисоблаймиз.

$$M = J \cdot \varepsilon = J\frac{d\omega}{dt}, \tag{21.4}$$

ёки вектор кўринишда

$$\vec{M} = J\vec{\varepsilon}, \tag{21.5}$$

Синов саволлари

1. Абсолют қаттиқ жисм деб қандай жисмга айтилади? 2. Қаттиқ жисм айланма ҳаракат динамикасини қандай бўлим билан солиштириб ўрганиш мумкин? 3. Айланма ҳаракатда радиус қандай аниқланади? 4. Илга-

риланма ҳаракатда масса бажарадиган вазифани айланма ҳаракатда қандай катталик бажаради? 5. Инерция моменти қандай аниқланади ва унинг бирлиги қандай? 6. Куч моменти қандай аниқланади? 7. Илгариланма ҳаракатда куч бажарадиган вазифани айланма ҳаракатда қандай катталик бажаради? 8. Нима учун куч айланма ҳаракатда ҳам илгариланма ҳаракатдагидек вазифани бажара олмайди? 9. Куч елкаси деб қандай катталикка айтилади? 10. Айланма ҳаракат динамикасининг асосий тенгламаси қандай?

22- §. Импульс моменти ва унинг сақланиш қонуни

Мазмуни: импульс моменти; импульс моменти ва айланма ҳаракат кинематикаси характеристикалари орасидаги боғланиш; айланма ҳаракат динамикасининг асосий қонуни; импульс моментининг сақланиш қонуни; айланма ҳаракат қилаётган жисмнинг кинетик энергияси; илгариланма ва айланма ҳаракат динамика характеристикалари орасидаги боғланиш.

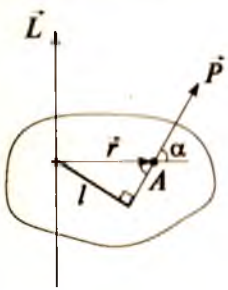
Импульс моменти. Илгариланма ҳаракатда импульс бажарадиган вазифани айланма ҳаракатда импульс моменти бажаради. У импульс каби вектор катталик бўлиб, $\vec{L}$ ҳарфи билан белгиланади. A моддий нуқтанинг ҳаракатсиз O нуқтага нисбатан импульс (ҳаракат миқдори) моменти деб, қуйидаги векториал кўпайтма билан аниқланадиган физик катталикка айтилади. (30-расм).

$$\vec{L} = [\vec{r} \cdot \vec{p}] = [\vec{r} \cdot m\vec{v}]. \qquad (22.1)$$

Импульс моменти векторининг модули.

$$L = r \cdot p \cdot \sin\alpha = mvr \sin\alpha = p \cdot l\,, \qquad (22.2)$$

бу ерда $\vec{r}$ — айланиш ўқидан импульс қўйилган A нуқтагача бўлган радиус-вектор; $r\sin\alpha = l, l$ - p — векторнинг 0 нуқтага нисбатан елкаси; $\alpha - \vec{r}$ ва $\vec{p}$ — векторлар орасидаги бурчак (30-расм). Импульс моментининг СИ даги бирлиги 1 кг $\cdot \frac{м^2}{с}$.



30-расм.

$$[L] = [r] \cdot [p] = 1м \cdot 1кг \cdot м/с = 1кг \cdot м^2/с.$$

Импульс моменти ва айланма ҳаракат кинематикаси харакатеристкалари орасидаги боғланиш. Илгариланма ва айланма ҳаракат характеристикалари орасидаги ўхшашликка асосан импульс моменти учун қуйидаги ифодани ёзамиз.

$$L = J \cdot \omega. \qquad (22.3)$$

Бунда $p = mv$ ифодадан фойдаланиб, p нинг ўрнига L ни, ва m нинг ўрнига J ни, v нинг ўрнига ω ни қўйдик. Шунингдек, илгариланма ҳаракат динамикаси асосий қонунининг $\frac{d\vec{P}}{dt} = \vec{F}$ ифодаси ёрдамида қаттиқ жисм айланма ҳаракат динамикасининг қонунини ёзамиз.

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{M}. \qquad (22.4)$$

Импульс моментининг сақланиш қонуни. Агар система ёпиқ бўлса, унда ташқи кучлар моменти нолга тенг бўлади, яъни $\vec{M} = 0$. Бу ҳолда (22.4) қуйидаги кўринишни олади.

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = 0.$$

Агар ўзгармас катталикнинг ҳосиласигина нолга тенг бўлишини назарда тутсак

$$\vec{L} = const. \qquad (22.5)$$

(22.5) - импульс моментининг сақланиш қонунидир. *Ёпиқ системада импульс моменти сақланади, яъни вақт ўтиши билан ўзгармайди. Олдин таъкидланганидек импульс моментининг сақланиш қонуни табиатнинг фундаментал қонунларидан бири бўлиб, у фазо* изотроплигининг натижасидир.

Айланма ҳаракат қилаётган жисмнинг кинетик энергияси. Айланма ҳаракат қилаётган жисмнинг кинетик энергиясини $W_k = \frac{mv^2}{2}$ ифода ёрдамида топамиз, яъни мос катталикларни алмаштиргандан кейин оламиз.

$$W_k = \frac{J\omega^2}{2}. \qquad (22.6)$$

Агар жисм думалаётган бўлса, яъни ҳам илгариланма, ҳам масса марказига нисбатан айланма ҳаракатда иштирок этаётган бўлса, унинг тўла кинетик энергияси ҳам илгариланма, ҳам айланма ҳаракат кинетик энергияларининг йиғиндисига тенг бўлади.

$$W_k = \frac{mv_c^2}{2} + \frac{J_c\omega^2}{2}.$$

Бу ерда v_c — жисм масса марказининг тезлиги, J_c — жисмнинг масса марказига нисбатан инерция моменти.

2-жадвал

Илгариланма ва айланма ҳаракат динамикаси характеристикалари орасидаги боғланиш.

Илгариланма ҳаракат	Айланма ҳаракат
Кўчиш ва йўл: $\vec{r}$ ва S	Бурчак $\varphi, \vec{\varphi}$
Тезлик $\vec{\upsilon} = \frac{d\vec{r}}{dt}, \upsilon = \frac{ds}{dt}$	Бурчак тезлик $\vec{\omega} = \frac{d\vec{\varphi}}{dt}$
Тезланиш $\vec{a} = \frac{d\vec{\upsilon}}{dt}$	Бурчак тезланиш $\vec{\varepsilon} = \frac{d\vec{\omega}}{dt}$
Масса m	Инерция моменти $J = mr^2$
Куч $\vec{F}$	Куч моменти $\vec{M} = \left[\vec{l}\vec{F}\right]$
Импульс $\vec{P} = m\vec{\upsilon}$	Импульс моменти $\vec{L} = J \cdot \vec{\omega}$
$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}$ Динамиканинг асосий қонуни $\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{M}$	
Иш $dA = F_s dS$	Иш $dA = Md\varphi$
Кинетик энергия $\frac{m\upsilon^2}{2}$	Кинетик энергия $\frac{J\omega^2}{2}$

Синов саволлари

1.Илгариланма ҳаракатда импульс бажарадиган вазифани айланма ҳаракатда қандай катталик бажаради? 2. Импульс моменти қандай аниқланади ва унинг бирлиги нима? 3.Импульс моменти ва айланма ҳаракат кинематикаси характеристикалари орасида қандай боғланиш бор? 4. Айланма ҳаракат динамикасининг асосий қонуни қандай. 5. Импульс моментининг сақланиш қонуни ҳақида нима биласиз? 6. Айланма ҳаракат қилаётган жисмнинг кинетик энергияси. 7. Думалаётган жисмнинг кинетик энергияси. 8.Илгариланма ва айланма ҳаракат динамикаси қонунларини солиштиринг.

23- §. Қаттиқ жисмнинг деформацияси

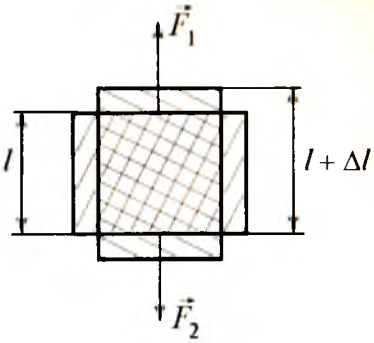
Мазмуни: деформация ; деформация турлари;нисбий деформация ; қаттиқ жисм деформацияси учун Гук қонуни.

Деформация. Деформация турлари. Биз ҳозиргача абсолют қаттиқ жисм тушунчасидан фойдаланиб келдик. Лекин табиатда абсолют қаттиқ жисм йўқ ва барча жисмлар озми-кўпми деформацияланади.

Қаттиқ жисмларнинг ташқи куч таъсирида ўз шакли ва ўлчамларини ўзгартиришига деформация дейилади.

Ташқи кучнинг таъсири тугагандан сўнг жисм ўзининг дастлабки шакли ва ўлчамларига қайтса, бундай деформацияга *эластик деформация* дейилади.

Чизғичнинг қайрилиши, резинканинг чўзилиши ва ҳоказо эластик деформацияга мисол бўла олади.



31-расм.

Ташқи куч таъсири тугагандан сўнг ҳам сақланадиган деформацияга *пластик* (ёки *қолдиқ*) *деформация* дейилади. Шишанинг синиши ва ҳоказо .

Умуман олганда реал жисмлар деформацияларининг барчаси пластикдир. Лекин деформация қолдиғи кам бўлса, уни ҳисобга олмаслик ва деформацияни эластик деб олиш мумкин.

Нисбий деформация. Деформацияларнинг аксарияти икки хил: чўзилиш ва сиқилиш деформацияларига келтирилади. Бу деформациялар билан танишамиз.

Бир жинсли L узунликли стерженга $\vec{F}_1$ ва $\vec{F}_2$ кучлар қўйилган. $F_1=F_2=F$ бўлгани учун фақат F куч қўйилган деб оламиз. Натижада стержень Δl га чўзилади. Одатда, стержень чўзилганда Δl мусбат, сиқилганда — манфий ишора билан олинади (31-расм).

Бирлик кўндаланг кесим юзага тўғри келувчи кучга кучланиш дейилади.

$$\sigma = \frac{F}{S}. \qquad (23.1)$$

Деформацияланиш даражасининг миқдорий тавсифи сифатида нисбий деформация тушунчаси киритилган.

Бўйланма (чўзилиш) нисбий деформация

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}. \qquad (23.2)$$

Кўндаланг (сиқилиш) нисбий деформация

$$\varepsilon' = \frac{\Delta d}{d}. \qquad (23.3)$$

ифодалар ёрдамида аниқланади. Улар орасида қуйидаги муносабат мавжуд

$$\varepsilon' = -\mu\varepsilon.$$

μ-модда хусусиятига боғлиқ бўлиб, унга Пуассон коэффициенти дейилади.

Қаттиқ жисм деформацияси учун Гук қонуни. Инглиз физиги Гук кичик деформациялар учун нисбий узайиш ε ва кучланиш σ орасида қуйидаги муносабат мавжудлигини аниқлади.

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta \ell}{\ell} = \frac{1}{E}\sigma = \alpha\sigma. \qquad (22.6)$$

моддаларнинг эластик хусусиятларини кўрсатувчи α га эластик коэффициент дейилади. Унга тескари катталик E эса юнг модули дейилади. E қанча катта бўлса, жисм шунча кам деформацияланади.

$$\varepsilon = \frac{F}{E \cdot S}.$$

ёки охирги ифода ёрдамида Гук қонунини бошқача ёзиш мумкин.

$$F = \frac{E \cdot S}{\ell} \cdot \Delta\ell = k \cdot \Delta\ell \qquad (22.7)$$

Эластик деформацияда деформация катталиги деформацияловчи кучга тўғри пропорционал. Бу ерда k -эластиклик коэффициенти дейилади.

Шуни таъкидлаш лозимки, қаттиқ жисмнинг деформацияси Гук қонунига маълум чегарагача бўйсунади.

Синов саволлари

1.Деформация деб нимага айтилади? 2. Эластик деформация қандай деформация? 3. Пластик деформация қандай деформация? 4. Амалда реал деформациялар қандай деформациялар бўлади? 5.Деформациянинг турлари. 6. Кучланиш деб нимага айтилади? 7. Қандай нисбий деформацияларни биласиз? Чўзилиш нисбий деформацияси? 8. Сиқилиш нисбий деформацияси? 9. Қаттиқ жисм деформацияси учун Гук қонуни. 10. Эластиклик коэффициенти нимани билдиради? 11. Юнг модули ва у нимани кўрсатади?

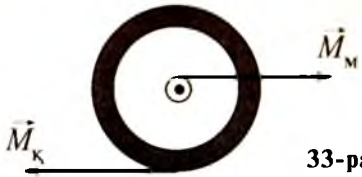
24-§. Қаттиқ жисмнинг мувозанати. Статика элементлари

Мазмуни: қаттиқ жисмнинг мувозанати; айланма ҳаракат қилмайдиган ва айланма ҳаракат қилаётган жисмларнинг мувозанати.

Қаттиқ жисмнинг мувозанати деб, унинг барча нуқталари қаралаётган саноқ системасига нисбатан ҳаракатсиз бўлган ҳолатига айтилади.

Айланма ҳаракат қилмайдиган жисмнинг мувозанати. Бизга маълумки, жисмга таъсир этадиган куч ёки кучлар системаси Ньютоннинг иккинчи қонунига мувофиқ унга маълум тезланиш бермоғи керак. Қачон бу кучлар жисмга тезланиш бера олмайди. Бу кучлар-

32-расм.



33-расм.

нинг йиғиндиси нолга тенг бўлса, шундагина жисмлар ўзларининг тўғри чизиқли текис илгариланма ҳаракатини ёки тинч ҳолатини сақлайди.

Айланма ҳаракат қилмайдиган жисм унга қўйилган кучларнинг геометрик йиғиндиси нолга тенг бўлгандагина мувозанат ҳолатда бўлади.

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 \ldots + \vec{F}_n = 0. \qquad (24.1)$$

Осиб қўйилган жисмга таъсир этаётган огирлик кучи ва ипнинг таранглик кучларининг геометрик йиғиндиси нолга тенг (32-расм).

$$\vec{P}_1 + \vec{T} = 0.$$

Айланма ҳаракат қилаётган жисмнинг мувозанати. Жисм бирор қўзғалмас ўққа нисбатан айланма ҳаракат қилаётган бўлсин. Энди шу жисмнинг тинч ёки текис ҳаракат ҳолати шартларини кўрамиз. Агар 21-§ даги солиштиришдан фойдаланса, илгариланма ҳаракатдаги куч ўрнига айланма ҳаракатдаги куч моментидан фойдаланиб, олдинги банддаги қоидани қайта ёзамиз.

Қўзғалмас ўқ атрофида *айланма ҳаракат қилаётган жисм, унга қўйилган барча куч моментларининг геометрик йиғиндиси нолга тенг бўлгандагина мувозанат ҳолатида бўлади.*

$$\vec{M}_1 + \vec{M}_2 + \ldots + \vec{M}_n = 0.$$

Ғилдирак моторнинг тортиш кучи моменти $\vec{M}_м$ ва қаршилик кучи моменти $\vec{M}_к$ ҳаракатсиз туради. (33-расм)

Синов саволлари

1. Статика бўлими нимани ўрганади? 2. Қаттиқ жисмнинг мувозанати деб қандай ҳолатга айтилади? 3. Айланма ҳаракат қилмайдиган жисм қачон мувозанат ҳолатда бўлади? 4. Осиб қўйилган жисмнинг мувозанат шарти. 5. Айланма ҳаракат қилаётган жисм қачон мувозанат ҳолатда бўлади?

Масала ечиш намуналари

1-масала. Жисм айланма ҳаракат қила бошлагандан 6 с. ўтгандан кейин бурчак тезлиги 3 с-1 га етган. Агар таъсир этаётган куч моменти 12 Н · м бўлса, жисмнинг инерция моменти нимага тенг?

Берилган:

$M = 12$ Н · м;

$\Delta t = 6$с;

$\omega_0 = 0$;

$\omega = 3$ с$^{-1}$

———

$I = ?$

Ечиш. Айланма ҳаракат динамикасининг асосий тенгламасини ёзамиз.

$$M = J \cdot \varepsilon,$$

ва ундан инерция моментини топамиз.

$$I = \frac{M}{\varepsilon}.$$

Бу ерда ε жисмнинг бурчак тезланиши. Бурчак тезланишининг таърифига биноан

$$\varepsilon = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{\omega - \omega_0}{\Delta t}.$$

Унда инерция моменти учун топилган ифода

$$I = \frac{M \cdot \Delta t}{\omega - \omega_0}$$

кўринишни олади. Катталикларнинг сон қийматларини қўйсак:

$$I = \frac{12 \cdot 6}{3 - 0} \text{ кг} \cdot \text{м}^2 = 24 \text{кг} \cdot \text{м}^2 \text{ ни ҳосил қиламиз.}$$

Жавоб: $I = 24$ кг · м^2.

2-масала. Айланаётган ғилдиракнинг кинетик энергияси 1 кЖ га тенг. Ўзгармас тормозловчи момент таъсирида ғилдирак текис секинланувчан айлана бошлади ва $N = 80$ марта айланиб тўхтади. Тормозловчи куч моменти M топилсин.

Берилган:

$E_к = 1$ кЖ$=10^3$Ж;

$N = 80$.

———

$M = ?$

Ечиш. Энергиянинг сақланиш қонунига мувофиқ ўзгармас тормозловчи момент иши А, айланаётган ғилдиракнинг энергиясига тенг бўлади, яъни

$$A = E_к.$$

Агар ўзгармас моментнинг иши А=М · φ эканлигини назарда тутсак

$$M \cdot \varphi = E_к$$

бўлади.

Ғилдирак тўхтагунгача бурилиш бурчаги φ ни қуйидагича аниқлаймиз.

$$\varphi = 2\pi \cdot N.$$

Унда куч моменти учун топилган ифода қуйидаги кўринишни олади

$$M = \frac{E_k}{2\pi N}.$$

Катталикларнинг сон қийматларини қўйиб, қуйидагини оламиз.

$$M = \frac{10^3}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 80}\,\text{Н} \cdot \text{м} = \frac{10}{1{,}6 \cdot 3{,}14}\,\text{Н} \cdot \text{м} = 1{,}99\text{Н} \cdot \text{м}$$

Жавоб: М=1,99Н·м.

Мустақил ечиш учун масалалар

1. Жуковский курсисида турган одам горизонтал йўналишда 20 м/с тезлик билан учаётган, массаси 0,4 кг бўлган тўпни қўли билан ушлаб олади. Тўпнинг траекторияси курси айланаётган тик ўқдан 0,8 м масофадан ўтади. Агар одам ва курсининг йиғинди инерция моменти 6 кг · м^2 га тенг бўлса, одам курси билан биргаликда қандай ω бурчак тезлик билан айлана бошлайди? ($\omega = 1{,}02$ с$^{-1}$)
2. Радиуси 15 см бўлган, 8 с$^{-1}$ частота билан айланаётган чигирни 6с давомида тўхтатиш учун қўйилиши керак бўлган куч моменти аниқлансин. Чиғирнинг 5 кг массаси гардиш бўйлаб текис тақсимланган деб ҳисоблансин. ($M = 0{,}84$ Н · м)
3. Массаси 10 кг ва узунлиги 40 см бўлган таёқнинг учларига 40 кг ва 10 кг бўлган юклар осилган. Таёқ мувозанатда туриши учун унинг қаеридан таянчга қўйиш лозим? ($l_1 = 10$ см).
4. Массаси 10 кг бўлган яхлит цилиндр 10 м/с тезлик билан сирпанишсиз думалайди. Цилиндрнинг кинетик энергияси аниқлансин. ($E_к = 750$Ж).

VI БОБ. СУЮҚЛИКЛАР ВА ГАЗЛАР МЕХАНИКАСИ

Гарчи суюқликлар ва газлар баъзи хоссалари билан бир-биридан фарқ қилсалар-да, кўпчилик механик ҳодисаларда уларнинг ҳолати бир хил параметрлар ва ўхшаш тенгламалар билан аниқланади. Шунинг учун ҳам суюқликлар ва газларнинг мувозанати, ҳаракати, ўзаро ва силлиқ айланиб ўтадиган қаттиқ жисмлар билан таъсири биргаликда кўрилади.

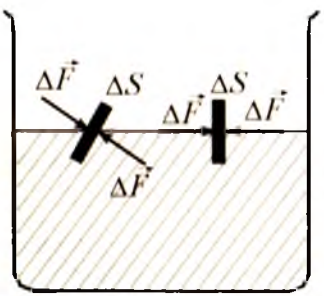
25- §. Суюқликлар ва газларда босим. Паскаль ва Архимед қонунлари

Мазмуни: суюқликлар ва газлар; суюқликларда ва газларда босим; Паскаль қонуни; гидростатик босим; Архимед қонуни.

Суюқликлар ва газлар. Газларнинг молекулалари орасидаги ўзаро таъсир кучлари жуда кичик, яъни улар бир-бирлари билан қарийб боғланмаган. Шунинг учун ҳам улар доимо бетартиб ҳаракат қилиб, ажратилган ҳажмни тўла эгаллайди. Газнинг ҳажми у эгаллаган идишнинг ҳажми билан мос келади.

Газлардан фарқли равишда суюқликларнинг молекулалари бир-бирлари билан анча мустаҳкам боғланган ва улар орасидаги масофа қарийб ўзгармайди. Шунинг учун ҳам суюқлик сиқилмайди. Суюқлик молекулалари жуда яхши ўрин алмашиш хусусиятига эга. Суюқлик ўзи солинган идиш шаклини эгаллайди ва оқувчанлик хусусиятига эга.

Суюқликлар ва газларда босим. Суюқликларнинг зичлиги босимга деярли боғлиқ эмас. Газларнинг зичлиги эса босимга боғлиқ. Кўпинча суюқликлар ва газларнинг сиқилишини эътиборга олмасдан сиқилмас суюқлик модулидан фойдаланиш мумкин.



34-расм.

Тинч турган суюқликка юпқа пластинкаларни киритайлик. Пластинканинг турли томонларида бўлган суюқликлар унинг ҳар бир ΔS юза элементига, катталиклари тенг ΔS га тик йўналган ΔF кучлар билан таъсир қилади. (34-расм)

Бирлик юзага суюқлик томонидан таъсир этувчи нормал куч билан аниқланувчи физик катталикка суюқликнинг босими дейилади.

$$p = \frac{\Delta F}{\Delta S} \qquad (25.1)$$

Босимнинг СИ даги бирлиги - паскаль (Па):

$$[p] = \frac{[F]}{[S]} = \frac{1\text{Н}}{1\text{м}^2} = 1\,\frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = 1\text{Па}.$$

СИ да босим борлиги сифатида 1м юзага нормал йўналган 1Н кучнинг ҳосил қиладиган босими қабул қилинган.

Берк идишдаги босимни ўлчаш учун ишлатиладиган асбобларга манометр, атмосфера босимини ўлчаш учун ишлатиладиган асбобларга эса барометр дейилади.

Паскаль қонуни. Мувозанат вазиятдаги суюқликларнинг босими **Паскаль қонунига** бўйсунади: *Ҳаракатсиз суюқликнинг исталган жойидаги босим ҳамма йўналишларда бир хил ва ҳаракатсиз суюқлик эгаллаган ҳажм бўйича бир хилда узатилади.*

Гидростатик босим. Архимед қонуни. Суюқликнинг вазни ҳаракатсиз, сиқилмайдиган суюқлик ичидаги босимнинг тақсимланишига қандай таъсир қилишини кўрайлик. *Суюқликнинг мувозанат ҳолатида горизонтал сатҳ бўйича босими бир хил бўлади. Акс ҳолда мувозанат бўлмас эди.* Шунинг учун ҳам ҳаракатсиз суюқликнинг эркин сатҳи доимо горизонтал ҳолатда бўлади. Агар суюқлик сиқилмайдиган бўлса унинг зичлиги босимга боғлиқ бўлмайди. Зичлиги ρ бўлган суюқлик кўндаланг кесим юзаси S, баландлиги h устунининг вазни

$$P = mg = \rho Vg = \rho gSh.$$

Бу ерда; m — суюқлик устунининг массаси; g — эркин тушиш тезланиши; V — суюқлик устунининг ҳажми.

Пастги асосдаги босим

$$p = \frac{P}{S} = \frac{\rho gSh}{S} = \rho gh. \qquad (25.2)$$

Демак, суюқлик асосидаги босим сатҳнинг баландлигига боғлиқ экан. Яъни суюқликнинг пастки қатламидаги босим юқори қатламдагидан кўра каттароқ бўлади ва шунинг учун ҳам суюқликка ботирилган жисмга итариб чиқарувчи куч таъсир этади. Бу кучга Архимед кучи дейилади: *Суюқликка ботирилган жисмга шу суюқлик томонидан юқорига йўналган ва жисм сиқиб чиқарган суюқлик вазнига тенг бўлган итарувчи куч таъсир этади.*

$$F_A = \rho gV, \qquad (25.3)$$

бу ерда ρ — суюқликнинг зичлиги, V — суюқликка ботирилган жисмнинг ҳажми, ρgh — гидростатик босим.

Архимед кучи газларда ҳам мавжуддир.

Синов саволлари

1. Газнинг ҳажми қандай аниқланади? 2. Суюқликлар идишнинг шаклини олишига сабаб нима? 3. Суюқлик сиқиладими? Газчи? 4. Суюқликнинг босими деб нимага айтилади? 5.Суюқлик босимининг бирлиги қандай? 6. Манометр ва барометр бир-биридан нимаси билан фарқланади? 7. Паскаль конуни 8. Суюқликнинг эркин сатҳи горизонтал бўлишига сабаб нима? 9. Гидростатик босим. Нима учун сувлаги юк енгилдек туюлади? 10. Архимед кучи нима?.

26- §. Узлуксизлик ва Бернулли тенгламалари

Мазмуни: суюқликнинг оқиши ва оқим; узлуксизлик тенгламаси; Бернулли тенгламаси, статик, динамик ва гидростатик босимлар.

Узлуксизлик тенгламаси. *Суюқликнинг ҳаракатига оқиш, ҳаракатланаётган зарралар тўпламига эса -оқим* дейилади. Қувурнинг кўндаланг кесимлари S_1 ва S_2 бўлган жойларида суюқликнинг оқим тезликлари мос равишда υ_1 ва υ_2 бўлсин. (35- расм). Сиқилмайдиган суюқлик оқим тезлигининг оқим кўндаланг кесимга кўпайтмаси ўзгармас катталикдир, яъни

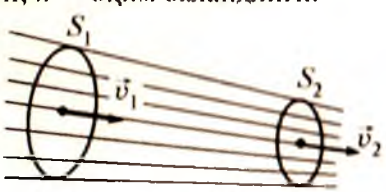
$$S_1\upsilon_1 = S\upsilon_2 = ... = const. \qquad (26.1)$$

(26.1) ифодага сиқилмайдиган суюқлик учун узлуксизлик тенгламаси дейилади. Дарёнинг кенг қисмида сувнинг секин, тор қисмида эса тез оқиши тенгламанинг ўринлилигини кўрсатади.

Бернулли тенгламаси. Швейцариялик физик Бернулли оқаётган суюқлик босимлари учун қуйидаги муносабат ўринли эканлигини аниқлаган.

$$\frac{\rho\upsilon^2}{2} + \rho gh + p = const. \qquad (26.2)$$

Бу тенглама Бернулли тенгламаси дейилади. Бу ерда p — суюқликнинг статик босими, у огирлик кучи натижасида вужудга келади, $\frac{\rho\upsilon^2}{2}$ — динамик босим, суюқлик ҳаракатининг натижасидир, ρgh — гидростатик босим, ρ — суюқликнинг зичлиги, υ — тезлиги, h — оқим баландлиги.



35-расм.

Агар оқим горизонтал бўлса унда (26.2) қуйидаги кўринишни олади.

$$\frac{\rho\upsilon^2}{2} + p = const.$$

$p = \frac{\rho\upsilon^2}{2}$ га тўла босим дейилади.

Синов саволлари

1.Оқиш деб нимага айтилади? 2. Оқим деб нимага айтилади? 3. Узлуксизлик тенгламаси қандай? 4. Узлуксизлик тенгламасининг ўринлигига учта мисол келтиринг. 5. Статик босим қандай босим? 6. Динамик босим қандай босим? 7. Гидростатик босим қандай босим? 8. Бернулли тенгламаси нимани исботлайди?

27- §. Жисмларнинг суюқликлардаги ва газлардаги ҳаракати

Мазмуни: жисмларнинг суюқликларда ва газларда ҳаракатини ўрганишнинг аҳамияти; пешона қаршилик кучи.

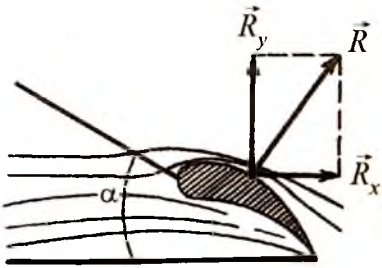
Жисмларнинг суюқликларда ва газларда ҳаракатини ўрганишнинг аҳамияти. Жисмларнинг суюқликларда ва газлардаги ҳаракатини ўрганиш авиациянинг ривожланиши ва сув кемалари тезликларининг ортиши билан боғлиқ. Шу мақсадда суюқликлар ва газларда ҳаракатланаётган қаттиқ жисмларга таъсир этадиган кучларни кўрамиз.

Улар қандай кучлар. Суюқлик ёки газда ҳаракат қиладиган жисмга иккита куч таъсир қилади (уларнинг тенг таъсир этувчисини- $\vec{R}$ деб белгилаймиз).

Биринчи куч (R_x) жисмнинг ҳаракат йўналишига қарама-қарши йўналган бўлиб, унга *пешона қаршилик* дейилади. Жисмнинг ҳаракат йўналишига перпендикуляр йўналган иккинчи кучи эса (R_y) — *кўтариш кучи* дейилади.(36-расм).

Пешона қаршилик $R_x = C_x \frac{\rho v^2}{2} S$ ифода ёрдамида аниқланади. Бу ерда C_x — жисмнинг шакли ва оқимга нисбатан ҳолатига боғлиқ бўлган ўлчамсиз коэффициент, ρ — муҳитнинг зичлиги, v — жисмнинг ҳаракат тезлиги, S — жисмнинг энг катта кўндаланг кесими.

Кўтариш кучи. $R_Y = C_Y \frac{\rho v^2}{2} S$ ифода орқали топилади. Бунда C_Y — кўтариш кучининг ўлчамсиз коэффициенти, α — оқимга ҳужум бурчаги. Уни шундай танлаш керакки, бунда пешона қаршилик кичик, кўтариш кучи эса катта бўлсин. Бундай шарт қанот сифатини кўрсатувчи коэффициент $K = \frac{C_Y}{C_X}$ қанча катта бўлса, шунча яхши бажарилади.



36-расм.

Синов саволлари

1. Жисмларнинг суюқликларда ва газларда ҳаракатини ўрганишнинг аҳамияти нимада? 2. Суюқликларда ва газларда ҳаракатланаётган жисмга таъсир этувчи кучларни чизиб кўрсатинг. 3. Пешона қаршилик ҳаракат йўналишига нисбатан қандай йўналган? 4. Пешона қаршилик нимага тенг? 5. Кўтариш кучи ҳаракат йўналишига нисбатан қандай йўналган? 6. Кўтариш кучи нимага тенг? 7. Ҳужум бурчагининг нима аҳамияти бор? 8. Қанотнинг сифатини кўрсатувчи коэффициент нимага тенг ва унинг нима аҳамияти бор?

Масала ечиш намуналари

1 - масала. Стакандаги сув устунининг баландлиги 8 см. Сув стакан тубига қандай босим кўрсатади? Сувнинг ўрнида симоб бўлганида-чи?

Берилган:

$H = 0{,}08$ м;

$\rho_1 = 1000$ кг/м^3;

$\rho_1 = 13{,}6 \cdot 10^3$ кг/м^3

$g = 9{,}8$ м/с^2

---

p_1-?, p_2-?

Ечиш: Сувнинг стакан тубидаги кўрсатадиган гидростатик босими $p_1 = \rho_1 gh$ ифода билан аниқланади. Симоб бўлган ҳол учун $p_2 = \rho_2 gh$.

Берилганларни ёзилган ифодаларга қўйсак

$$p_1 = 1000 \cdot 9{,}8 \cdot 0{,}08 \text{ Па} = 784 \text{ Па};$$

$$p_1 = 13{,}6 \cdot 10^3 \cdot 9{,}8 \cdot 0{,}08 \text{ Па} = 10662{,}4 \text{ Па} = 10{,}66 \text{ кПа}$$

Жавоб: $p_1 = 784$ Па; $p_2 = 10{,}66$ кПа.

2 - масала. Кесими ўзгарувчан горизонтал жойлашган қувурдан сув оқади. Қувурнинг диаметри кенг қисмида сувнинг тезлиги 20 см/с бўлса, диаметри ундан 1, 5 марта кичик бўлган тор қисмида сувнинг тезлиги аниқлансин.

Берилган:

$\upsilon_1 = 20 \frac{\text{см}}{\text{с}} = 0{,}2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$;

$\frac{d_1}{d_2} = 1{,}5.$

$\upsilon_2 = ?$

Ечиш: Қувурдаги сув оқими учун узлуксизлик тенгламасини ёзамиз. $\upsilon_1 S_1 = \upsilon_2 \cdot S_2$. Бундан қувурнинг тор қисмидаги тезлигини топсак.

$$\upsilon_2 = \frac{S_1}{S_2}\upsilon_1.$$

Агар қувурнинг кўндаланг кесим юзаларини $S_1 = \pi\left(\frac{d_1}{2}\right)^2$, $S_1 = \pi\left(\frac{d_2}{2}\right)^2$, кўринишда аниқланишини эътиборга олсак:

$$\upsilon_2 = \frac{\pi\left(\frac{d_1}{2}\right)^2}{\pi\left(\frac{d_2}{2}\right)^2}\upsilon_2 = \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2 \cdot \upsilon_1$$

ифодани ҳосил қиламиз. Берилганлардан фойдаланиб қуйидагини оламиз.

$$\upsilon_2 = (1{,}5)^2 \cdot 0{,}24\,\frac{\text{м}}{\text{с}} = 0{,}45\ \text{м/с}.$$

Жавоб: $\upsilon_2 = 0{,}45\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Мустақил ечиш учун масалалар

1. Баландлиги 0,5 м бўлган керосин қатлами идиш тубига қандай босим кўрсатади? (p =4кПа).
2. Ғаввос қаттиқ скафандрда 250 м чуқурликка тушиши мумкин. Моҳир шўнғувчи эса 20 м чуқурликкача шўнғиши мумкин. Денгизда шу чуқурликлардаги сувнинг босими қанча? (p_1 = 2575 кПа; p_2=206 кПа)
3. Муз бўлагининг юзи 8 м^2, қалинлиги 25 см. Агар унинг устига оғирлиги 600 Н бўлган одам чиқса, муз чучук сувга бутунлай ботадими? (Ботмайди).
4. Горизонтал жойлашган қувурнинг кенг қисмида нефтнинг оқиш тезлиги 2 м/с. Агар қувурнинг кенг ва тор қисмларидаги статик босимлар фарқи 6,65 кПа бўлса, қувурнинг тор қисмида нефтнинг тезлиги аниқлансин. (υ_2 = 4,3м/с).

VII БОБ. ТЕБРАНИШЛАР ВА ТЎЛКИНЛАР

Маълум вақтдан кейин қайтариладиган ҳаракатларга ёки жараёнларга *тебранишлар* дейилади. Бунга соат маятнигининг, мусиқа асбоби торларининг, юракнинг ҳаракатлари мисол бўлади. Тебранишларнинг табиати турлича бўлиши мумкин. Масалан, соат маятнигининг ҳаракати механик тебраниш, электр токи йўналишининг ўзгариши эса электромагнит тебранишдир. Шундай бўлса-да, барча тебранма жараёнлар бир хил характеристикалар ва тенгламалар билан тавсифланади. Шунинг учун ҳам барча турдаги тебранишларни ягона услуб билан ўрганишга ҳаракат қилишади.

Эркин тебранишлар деб, системага ташқи кучлар томонидан берилган дастлабки энергия ҳисобига вужудга келиб, сўнгра системага бошқа таъсир бўлмаганда ҳам давом этадиган тебранишларга айтилади.

Ташқи куч таъсирида бўладиган тебранишларга *мажбурий тебранишлар* дейилади.

Мажбурий тебранишлар частотаси билан хусусий тебранишлар частотасининг мос келиши натижасида тебранишлар амплитудасининг кескин ортиб кетиш ҳодисасига резонанс дейилади.

Резонанс рўй берадиган частотага резонанс частотаси дейилади.

28- §. Гармоник тебранишлар ва уларнинг характеристикалари. Пружинали ва математик маятниклар

М а з м у н и: гармоник тебранишлар; гармоник тебранишлар тенгламаси; гармоник тебранишлар даври ва частотаси, пружинали маятник, математик маятник.

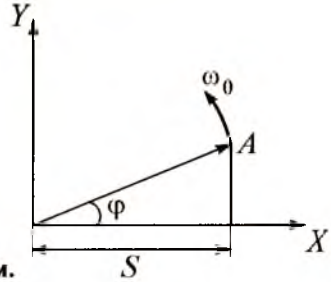
Гармоник тебранишлар. Гармоник тебраниш деб, физик катталикнинг вақт ўтиши билан косинус (синус) қонунига мувофиқ ўзгарадиган тебранма ҳаракатига айтилади.

Гармоник тебранишлар энг содда тебранишлар ҳисобланади ва қуйидаги икки сабабга кўра улар батафсил ўрганилади: биринчидан, табиатда ва техникада учрайдиган тебранишларнинг аксарияти гармоник тебранишга яқиндир; иккинчидан, турли мураккаб тебранишларни ҳам гармоник тебранишларнинг йиғиндиси сифатида қараш мумкин.

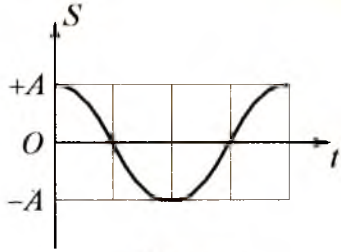
Гармоник тебраниш тенгламаси. S катталикнинг гармоник тарзда ўзгариши қуйидаги тенглама билан аниқланади:

$$S = A\cos(\omega_0 t + \varphi)\,. \qquad (28.1)$$

Бу ерда A — тебраниш амплитудаси, ω_0 — циклик частота, φ–тебранишнинг бошланғич фазаси (37-расм), $(\omega_0 t+\varphi)$— тебраниш фазаси.



37-расм.



38-расм.

Косинус + 1 дан — 1 гача қийматларни қабул қилгани учун S + A дан — A гача қийматларни қабул қилади (38-расм).

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0}, \tag{28.2}$$

T — катталик тебраниш даври дейилади.

$$\nu = \frac{1}{T}, \tag{28.3}$$

ν — катталикка тебраниш частотаси.
(28.2) ва (28.3) ларни солиштириб

$$\omega_0 = 2\pi\nu \tag{28.4}$$

ни оламиз

Частотанинг СИ даги бирлиги — герц (Гц). У немис физиги Г.Герц шарафига шундай номланган. 1 Гц частота деб, 1 секундда 1 марта тўла такрорланадиган даврий жараённинг частотасига айтилади.

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

Гармоник тебранма ҳаракат қилаётган нуқтанинг тўла механик энергияси унинг кинетик ва потенциал энергияларининг йиғиндисига тенг ва ўзгармас катталик

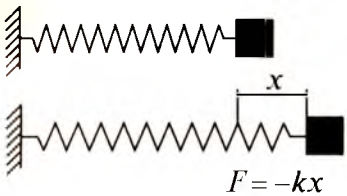
$$E = E_к + E_п\ . \tag{28.5}$$

Энди гармоник тебранма ҳаракат қилаётган баъзи қурилмалар билан танишайлик.Уларнинг энг соддалари пружинали ва математик маятниклардир.

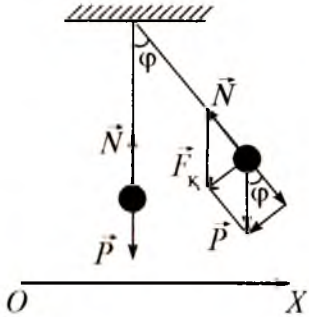
Пружинали маятник. Пружинали маятник деб, абсолют эластик пружинага беркитилган ва эластиклик кучи $F=-kx$ таъсирида гармоник тебранма ҳаракат қиладиган m массали юкка айтилади (39-расм).

Бу ерда k — пружинанинг қаттиқлиги, x — юкнинг мувозанат вазиятидан оғиши.

Пружинали маятникнинг циклик частотаси ω_0 қуйидагига тенг.



39-расм.



40-расм.

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}. \qquad (28.6)$$

Тебраниш даври

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}. \qquad (28.7)$$

Пружинали маятникнинг потенциал энергияси

$$E_p = \frac{kx^2}{2}. \qquad (28.8)$$

Математик маятник. Математик маятник деб, чўзилмайдиган, вазнсиз ипга осилган ва оғирлик кучи таъсирида тебранма ҳаракат қила оладиган моддий нуқтага айтилади (40-расм).

Мувозанат вазиятидан φ бурчакка оғдирилган маятникни $\vec{F}_к$ оғирлик кучининг ташкил этувчиси ҳаракатга келтиради

Математик маятникнинг циклик частотаси

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{l}} \qquad (28.9)$$

ва тебраниш даври

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \qquad (28.10)$$

ифодалар билан аниқланади.

Шунингдек, математик маятникнинг потенциал энергияси

$$E_p = \frac{mg}{l}\frac{x^2}{2}. \qquad (28.11)$$

Бу ерда g — эркин тушиш тезланиши, l — маятникнинг узунлиги, m — моддий нуқтанинг массаси.

Синов саволлари

1. Қандай жараёнларга тебранишлар деб айтилади? Тебранма ҳаракатга бешта мисол келтиринг. 2. Қандай тебранишларга эркин тебранишлар деб айтилади? 3. Қандай тебранишлар мажбурий тебранишлар деб айтилади? 4. Резонанс нима? 5. Қандай тебранишлар гармоник тебранишлар деб айтилади? 6. Гармоник тебранишларни батафсил ўрганишга сабаб нима? 7. Гармоник тебраниш тенгламаси. 8. Гармоник тебранишнинг даври. 9. Гармоник тебранишнинг частотаси. 10. Гармоник тебранишнинг циклик частотаси. 11. Гармоник тебранишнинг амплитудаси. 12. Частотанинг бирлиги. 13. Пружинали маятник деб қандай маятникка айтилади? 14. Пружинали маятникнинг тебраниш частотаси, даври ва потенциал энергияси қандай аниқланади? 15. Математик маятник деб қандай маятникка айтилади? 16. Математик маятникни қандай куч ҳаракатга келтиради? 17. Математик маятникнинг тебраниш частотаси, даври ва потенциал энергияси. 18. Гармоник тебранма ҳаракат қилаётган нуқтанинг тўла механик энергияси.

29-§. Тўлқинлар. Тўлқин характеристикалари, тўлқинларнинг қайтиши ва синиши

Мазмуни: тўлқинлар; тўлқин характеристикалари; ясси тўлқинлар; Гюйгенс принципи. Тўлқиннинг қайтиши ва синиши.

Тўлқинлар. Тебранишларнинг муҳитда тарқалиш жараёнига *тўлқинли жараён* ёки *тўлқин* дейилади. Тўлқинлар тарқалганда муҳитнинг зарралари тўлқин билан биргаликда ҳаракатланмайди, балки мувозанат вазияти атрофида тебранади. Заррадан-заррага тебранма ҳаракат ҳолати ва тўлқин энергиясигина узатилади. Шунинг учун ҳам модданинг эмас, балки энергиянинг кўчирилиши барча тўлқинларга хос хусусиятдир.

Суюқлик сиртидаги тўлқинлар, эластик тўлқинлар ва электромагнит тўлқинлар фарқ қилинади.

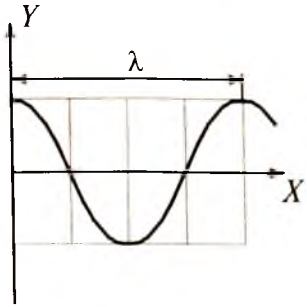
Эластик тўлқинлар деб, эластик, яъни қаттиқ, суюқ ва газсимон муҳитда тарқаладиган механик ғалаёнланишларга айтилади. Эластик тўлқинлар бўйланма ва кўндаланг бўлиши мумкин.

***Бўйланма тўлқинларда* муҳит зарралари тўлқин тарқалиш йўналишида тебранади. Кўндаланг тўлқинларда эса тарқалиш йўналишига перпендикуляр текисликда тебранади.** Суюқликларда ва газларда фақат бўйланма тўлқинлар вужудга келади. Қаттиқ жисмларда эса ҳам бўйланма, ҳам кўндаланг тўлқинлар вужудга келиши мумкин.

Тўлқин характеристикалари. Бир хил фазада тебранаётган иккита энг яқин зарралар орасидаги масофага тўлқин узунлиги дейилади ва λ ҳарфи билан белгиланади (41-расм).

$$\lambda = vT, \qquad (30.1)$$

бу ерда v — тўлқиннинг тарқалиш тезлиги; T — даври. Агар $T = \frac{1}{\nu}$ эканлигини эътиборга олсак



41-расм.

42-расм.

$$v = \lambda \cdot \nu \qquad (29.2)$$

бу ерда ν — частота.

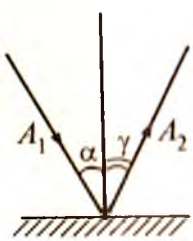
Ясси тўлқинлар. Агар тўлқиннинг тарқалиш жараёнини чуқурроқ ўргансак на фақат x ўқи бўйлаб йўналган зарралар, балки маълум ҳажмдаги зарралар мажмуи ҳам тебранади. Бошқача айтганда, тебраниш манбаидан тарқалаётган тўлқинлар фазонинг янги-янги соҳаларини эгаллаб боради. t вақтда тебраниш етиб борган нуқталарнинг геометрик ўрнига тўлқин фронти дейилади. Бир хил фазада тебранадиган нуқталарнинг геометрик ўрнига эса тўлқин сирти дейилади.

Тўлқин сирти концентрик сферадардан иборат бўлиши мумкин. Сирти сферадардан иборат бўлган тўлқинга *ясси* ёки *сферик тўлқин* дейилади. Тўлқин сиртига перпендикуляр йўналган чизиққа нур дейилади. Тўлқин нур йўналиши бўйлаб тарқалади.

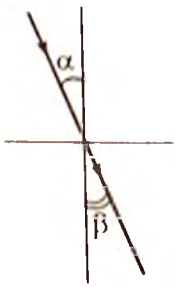
Гюйгенс принципи. Тўлқин сиртининг тўлқин етиб борган ҳар бир нуқтаси иккиламчи тўлқинларнинг нуқтавий манбаи бўлади. Иккиламчи тўлқинларга уринма сирт кейинги ондаги тўлқин сиртидир (42-расм).

Гюйгенс принципи тўлқинларнинг қайтишини тушунтириб беради.

Тўлқиннинг қайтиш принципи. Тушаётган ва қайтаётган нурлар ва тушиш нуқтасига ўтказилган перпендикуляр бир текисликда ётишади. Қайтиш бурчаги γ тушиш бурчаги α га тенг (43-расм).



43-расм.



44-расм.

Тўлқиннинг синиши. Икки муҳит чегарасида тўлқин йўналишининг ўзгаришига тўлқиннинг синиши дейилади (44-расм). Тушаётган нур, синган нур ва нур тушган нуқтага икки муҳит чегарасига ўтказилган перпендикуляр бир текисликда ётади. Тушиш бурчаги синусининг синиш бурчаги синусига нисбатан ҳар иккала муҳит учун ҳам ўзгармас катталикдир.

Синов саволлари

1. Тўлқин деб нимага айтилади? 2. Тўлқин тарқалганда муҳит зарралари қандай ҳаракатланади? 3. Тўлқин тарқалганда моддалар кўчадими ёки энергия? 4. Тўлқинларнинг турлари. 5. Эластик тўлқинлар деб қандай тўлқинларга айтилади? 6. Бўйланма тўлқинлар деб қандай тўлқинларга айтилади? 7. Кўндаланг тўлқинлар деб-чи? 8. Суюқликларда ва газларда қандай тўлқинлар вужудга келади? 9. Қаттиқ жисмларда қандай тўлқинлар вужудга келади? 10. Тўлқин узунлиги деб нимага айтилади? 11. Тўлқиннинг тарқалиш тезлиги,тўлқин узунлиги ва частотаси орасида қандай муносабат мавжуд. 12. Тўлқин фронти деб нимага айтилади? 13. Тўлқин сирти деб нимага айтилади? 14. Ясси тўлқин деб қандай тўлқинларга айтилади? 15. Гюйгенц принципи. 16. Тўлқиннинг қайтиш принципи. 17. Тўлқиннинг синиш принципи.

30- §. Товуш тўлқинлари

М а з м у н и : товуш тўлқинларининг характеристикалари;товушнинг тезлиги; товушнинг интенсивлиги; товушнинг қаттиқлиги ва бошқа характеристикалари; товуш тўлқинлари учун Доплер эффекти; ультратовушлар.

Товуш тўлқинлари. Тўлқинлар одам қулогига етиб борганда қулоқ пардасини мажбурий тебрантиради ва одам товушни эшитади. Одамда товуш сезгисини уйготувчи эластик тўлқинларга **товуш тўлқинлари** дейилади. Товуш тўлқинларининг частотаси 16 — 20.000 Гц оралиғида бўлади.

$\nu < 16$ Гц ва > 20.000 Гц частотали тўлқинлар инсоннинг эшитиш органлари томонидан қабул қилинмайди. $\nu < 16$ Гц частотали тўлқинларга инфратовуш ва $\nu > 200000$ Гц частотали тўлқинларга ультратовуш тўлқинлари дейилади. Бундан ташқари, товуш тўлқинларининг қуввати одамда сезги уйғотиш учун старли бўлиши керак.

Товуш тўлқинлари ҳам барча тўлқинлар каби муҳитда тарқалади ва бўшлиқда тарқала олмайди. Шунинг учун ҳам вакуумдан товуш узатилмайди.

Товуш тўлқинлари қандай тўлқинлар? Газларда ва суюқликларда товуш тўлқинлари фақатгина бўйланма бўлиши мумкин. Чунки бу муҳитлар фақатгина сиқилиш (чўзилиш) деформациясига нисбатангина эластиклик қобилиятига эга. Қаттиқ жисмлар эса ҳам сиқилиш (чўзилиш), ҳам силжиш деформацияларига нисбатан эластик бўлганликлари учун уларда товуш тўлқинлари ҳам бўйланма, ҳам кўндаланг бўлиши мумкин.

Товушнинг тезлиги. Баҳорда аввал чақмоқ чақнашини, кейин эса момақалдироқ товушини эшитамиз. Бу ҳодиса товушнинг тезлиги ёруғликнинг тезлигидан жуда кичик эканини кўрсатади.

Товушнинг T=273K да ҳаводаги тезлиги υ =331 м/с га тенг. Тўлқинларнинг тарқалиш тезлиги муҳитга ва ҳароратга боғлиқ. Бу хусусият товушнинг тарқалиш тезлигига ҳам хосдир. Масалан, товушнинг сувдаги тарқалиш тезлиги

$$\upsilon_c = 1450 \text{м/с}, \text{ пўлатда эса } \upsilon_n = 5000 \text{ м/с}.$$

Товушнинг интенсивлиги (товушнинг кучи). *Товушнинг интенсивлиги деб, товуш тўлқинларининг, тарқалиш йўналишига перпендикуляр бўлган бирлик юзадан олиб ўтиладиган энергияси билан аниқланадиган катталикка айтилади.*

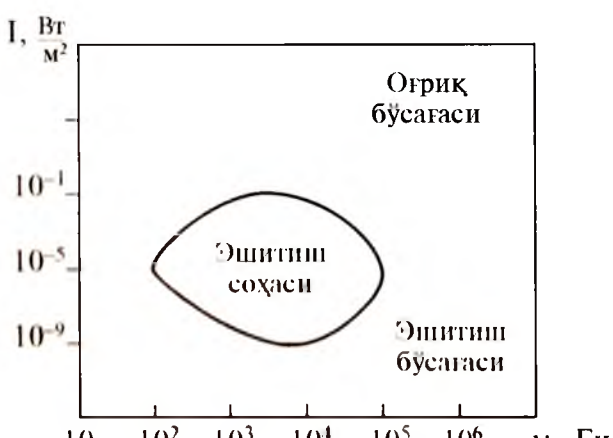
$$I = \frac{W}{St}. \qquad (30.1)$$

Товуш интенсивлигининг СИ даги бирлиги.

$$[I] = \frac{[W]}{[S][t]} = \frac{1\text{Ж}}{1\text{м}^2 1\text{с}} = 1\frac{\text{Ж}}{\text{м}^2\ \text{с}} = 1\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

Тўлқин энергияси тўлқин амплитудаси ва частотасининг квадратларига тўғри пропорционал. Шунинг учун ҳам тўлқин интенсивлиги тўлқин амплитудаси, частоталарининг квадратига тўғри пропорционал дейилади.

Шуни қайд этиш керакки, инсон қулоғининг сезувчанлиги турли частоталар учун турличадир. Кишида товуш туйғусини уйғотиш учун ҳар бир частотага мос маълум минимал интенсивлик мавжуд.Агар интенсивлик ўша чегарадан ошиб кетса, товуш эшитилмайди ва қулоқда оғриқ қўзғатади. Шундай қилиб, ҳар бир тўлқин частотаси учун энг кичик (эшитиш бўсағаси) ва энг катта (оғриқ сезиш бўсагаси) товуш интенсивлиги мавжуддир. 45-расмда эшитиш ва оғриқ сезиш бўсағаларининг товуш частотасига боғлиқлиги кўрсатилган. Улар орасида эшитиш соҳаси жойлашган.



45-расм.

Товушнинг қаттиқлиги ва бошқа характеристикалари. Товушнинг қаттиқлиги интенсивликка боғлиқ бўлган катталикдир. Вебер-Фехнер қонуни бўйича интенсивлик ортиши билан товушнинг қаттиқлиги логарифмик қонун бўйича ортади.

$$\bar{L} = \lg \frac{I}{I_0}. \qquad (30.2)$$

I_0— эшитиш бўсагасидаги товуш интенсивлиги бўлиб, барча товушлар учун 10^{-12} *Вт/м*^{2} деб қабул қилинади.

L — катталик товушнинг интенсивлик даражаси дейилади ва бел (Б) ёки децибелларда (дБ) ўлчанади. Товушнинг физиологик характеристикаси қаттиқлик даражасидир. У фонларда ифодаланади.

1000 Гц частотада, агар интенсивлик даражаси 1 дБ бўлса, товушнинг қаттиқлиги 1 фон бўлади.

Қаттиқликдан ташқари товушни характерловчи товушнинг баландлиги ва тембри тушунчаларидан ҳам фойдаланилади.

Товушнинг баландлиги— товуш частотасига боғлиқ бўлиб, эшитувчи томонидан аниқланадиган товушнинг сифатидир. Частота ортиши билан товушнинг баландлиги ҳам орта боради.

Товушнинг тембри эса энергиянинг маълум частоталар орасида тақсимланишини характерловчи катталикдир. Масалан, бир хил нотада ашула айтувчи хонандалар турлича энергия сарфлаганлари учун турлича тембрга эга бўладилар.

Товуш тўлқинлар учун Доплер эффекти. Бизга ҳаётий тажрибамиздан маълумки, поезд перронга яқинлашиб келаётганида паровоз сигнали қаттиқроқдек, поезд перрондан узоқлашаётганда эса паровоз сигнали секинроқдек туюлади. Бошқача айтганда, тебранишлар манбаининг (сигнал манбаининг) қабул қилувчига (қулоққа) нисбатан ҳаракати қабул қилинаётган тебранишлар частотасининг ўзгаришига олиб келади. Бу ҳодисага Доплер эффекти дейилади. *Тўлқинлар манбаи ва қабул қилувчининг бир-бирига нисбатан ҳаракатланиши натижасида қабул қилинаётган тўлқинлар частотасининг ўзгаришига Доплер эффекти дейилади.*

Ультратовушларнинг қўлланилиши. Частотаси $\nu > 20000$ Гц бўлган эластик тўлқинларга ультратовушлар дейилади. Унинг частотаси катта, тўлқин узунлиги кичик ва шунинг учун қатъий йўналган нур сифатида ҳосил қилиш мумкин.

Техникада ультратовуш икки хил усулда ҳосил қилинади: 1) механик ҳаво ва суюқлик ҳуштаклари, сиреналар ёрдамида; 2) электромеханик-электр тебранишларни механик тебранишларга айлантириш натижасида.

Лекин ультратовушларнинг қўлланилиш соҳаси жуда катта. Агар ультратовуш текшириладиган деталдан ўтказилса, сочилган нур ва ультратовуш соясига қараб ундаги дефектлар аниқланиши мумкин.

Шу принципга асосланиб, ультратовуш дефектоскопияси соҳаси вужудга келган. Ультратовуш, шунингдек, модда алмашувларини яхшилашда, моддаларнинг физик хоссаларини ўрганишда, жисмларга механик ишлов беришда, медицина ва бошқа соҳаларда ишлатилади.

Синов саволлари

1. Товуш тўлқинлари деб қандай тўлқинларга айтилади? 2. Товуш частоталари қандай оралиқда бўлади? 3. Частотаси 16 Гц дан кичик товушларга қандай товушлар дейилади? 4.Частотаси 20 000 Гц дан катта товушларга қандай товушлар дейилади? 5. Товуш тўлқинлари бўшлиқда тарқаладими? 6. Товуш тўлқинлари бўйланма тўлқинларми ёки кўндаланг? 7. Товушнинг тезлиги нимага тенг? 8. Товушнинг тезлиги ҳароратга боғлиқми, муҳитга-чи? 9. Товушнинг интенсивлиги ва унинг бирлиги. 10. Эшитиш бўсағаси нима? Оғриқ сезиш бўсағаси-чи? 11. Товушнинг қаттиқлиги қандай аниқланади? 12. Товушнинг интенсивлиги даражаси. 13. Товушнинг қаттиқлик даражаси. 14. Товушнинг баландлиги. 15. Товушнинг тембри. 16. Товуш тўлқинлари учун Доплер эффекти. 17. Ультратовуш ҳосил қилиш усуллари. 18. Ультратовушнинг қандай хусусияти унинг кенг қўлланишига имкон беради? 19. Ультратовушнинг қўлланиш соҳалари. 20. Ультратовуш деффектоскопияси қандай соҳа?

Масала ечиш намуналари

1-масала. $x = A \cdot \cos\omega(t+\tau)$ тенглама билан берилган тебранишнинг даври T, частотаси ν ва бошлангич фазаси φ аниқлансин. $\omega = 2{,}5\pi c^{-1}$; $\tau = 0{,}4c$ деб олинсин.

Берилган:

$x = A \cdot \cos\omega(t+\tau)$;
$\omega = 2{,}5\pi c^{-1}$;
$\tau = 0{,}4c$

$T = ?$
$\nu = ?$
$\varphi = ?$

Ечиш. Берилган тебраниш тенгламасини гармоник тебраниш тенгламаси.
$x = A\cos(\omega t + \varphi)$ кўринишга келтирамиз.
$x = A\cos(\omega t + \omega\tau)$ ва уларни солиштириб ҳосил қиламиз

$$\varphi = \omega\tau,$$

$$\nu = \frac{\omega}{2\pi},$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{1}{\nu}.$$

Берилганларни топилган ифодаларга қўйиб оламиз.
$\varphi = 0{,}25 \cdot \pi \cdot 0{,}4$ рад $= \pi$ рад;

$$\nu = \frac{2{,}5\pi}{2\pi} c^{-1} = 1{,}25c^{-1} = 1{,}25Гц. \quad T = \frac{2\pi}{2{,}5\pi} c = 0{,}8c$$

Жавоб. $T = 0{,}8c$; $\nu = 1{,}25$ Гц; $\varphi = \pi$ рад.

2 - масала. Пружинага m массали юк осилганда у 9 см га чўзилиб, пружинали маятник ҳосил бўлди. Ҳосил бўлган маятникнинг тебраниш даври топилсин.

Берилган:

$X = 9$см $= 9 \cdot 10^{-2}$ м;

———————————

$T = ?$

Ечиш. Пружинали маятникнинг тебраниш даври қуйидаги формула билан аниқланади.

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}},$$

бу ерда m — юкнинг массаси; $к$ — пружинанинг қаттиқлиги. Чўзилган пружинада вужудга келадиган эластиклик кучининг қиймати, яъни

$$F = kx.$$

Чўзилишда, мувозанат ҳолатида эса $F = P = mg$,

$$kx = mg.$$

Бундан

$$m = \frac{kx}{g}.$$

Масса учун топилган ушбу ифодадан фойдаланиб, давр учун оламиз:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{kx}{gk}} = 2\pi\sqrt{\frac{x}{g}}.$$

Берилгандан фойдаланиб, давр учун топамиз:

$$T = 2 \cdot 3{,}14 \cdot \sqrt{\frac{9 \cdot 10^{-2}}{9{,}8}}\text{с} = 0{,}6\text{с}.$$

Жавоб. $T = 0{,}6$с.

Мустақил ечиш учун масалалар

1. Қаттиқлиги 250 Н/м бўлган пружинага боғлаб қўйилганда 16с ичида 20 марта тебранадиган юкнинг массасини топинг. ($m = 4$ кг).
2. Бир хил вақт ичида бири 10 марта, иккинчиси эса 30 марта тебранадиган иккита математик маятникнинг узунликлари қандай нисбатда бўлади? (9:1)
3. Тебранаётган маятникнинг узунлигини 3 марта камайтирилиб, амплитудаси 2 марта орттирилса, унинг тўлиқ механик энергияси неча марта ўзгаради? (12 марта.)
4. Узунлиги 80 см бўлган, 1 мин. да 34 марта тебранадиган маятник билан лаборатория ишини бажарган ўқувчи эркин тушиш тезланиши учун қандай қиймат олган. ($g = 10{,}1$ м/с^2.)
5. Эркакнинг энг паст товушининг ҳаводаги тўлқин узунлиги 4,3 м, аёлнинг энг юқори товушининг тўлқин узунлиги эса 25 см. Бу товушларнинг тебраниш частоталарини топинг. Ҳавода товушнинг тарқалиш тезлиги 340 м/с деб олинсин. ($\upsilon_{эр} = 79$ Гц; $\upsilon_{аёл} = 1360$ Гц.)

VIII БОБ. МАХСУС НИСБИЙЛИК НАЗАРИЯСИ АСОСЛАРИ

Биз физикани классик механикани ўрганишдан бошлаган эдик. Классик механика тезликлари ёруғликнинг вакуумдаги тезлигидан жуда кичик бўлган макрожисмларнинг ҳаракат қонунларини ўрганади, деб қайд этилган эди. Унда тезликлари ёруғликнинг вакуумдаги тезлигига яқин бўлган жисмларнинг ҳаракат қонунлари қандай бўлади? Улар классик физика қонунларидан фарқ қиладими, йўқми? Ушбу ва яна тугиладиган бир қанча саволларга жавоб топиш мақсадида физиканинг энг қизиқарли бўлимларидан бири бўлган, фазо, вақт, материя ва ҳаракат каби тушунчалар ҳақидаги тасаввурларни кескин ўзгартириб юборган ва 1905 йилда А. Эйнштейн томонидан яратилган «Махсус нисбийлик назарияси асослари» билан танишишга киришамиз.

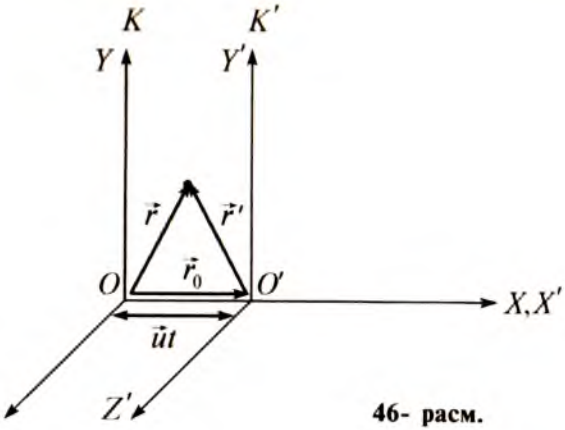
31- §. Механикада нисбийлик принципи. Галилей алмаштиришлари

Мазмуни: Галилейнинг нисбийлик принципи; координаталар учун Галилей алмаштиришлари; тезлик ва тезланишни алмаштириш; классик механикада инвариант катталиклар.

Галилейнинг нисбийлик принципи. Моддий нуқтанинг ҳаракати макон ва замонда ўрганилади, бу вазифани эса декарт координата системаси ва унга бириктирилган соат мажмуаси ўтайди деб қайд этилган эди. Агар саноқ системалари бир-бирига нисбатан тинч ёки тўғри чизиқли текис ҳаракат қилаётган ва уларнинг бирортасида Ньютон динамикаси қонунлари ўринли бўлса, унда бу системалар инерциал саноқ системалари бўлади.

Барча инерциал саноқ системаларида классик динамиканинг қонунлари бир хил шаклга эга. Бу принцип механикада *нисбийлик принципи* ёки Галилейнинг *нисбийлик принципи* дейилади.

Координаталар учун Галилей алмаштиришлари. Ушбу принципнинг моҳиятини тушуниш учун бир-бирига нисбатан $\vec{u}(\vec{u} = const)$ тезлик билан тўғри чизиқли текис ҳаракат қилаётган K (ўқлари x, y, z) ва K' (ўқлари x', y', z') координата системаларини қараймиз. Соддалик учун K' система K га нисбатан x ўқи бўйлаб ҳаракатланаётган ҳолни кўрайлик (46-расм). (Бунинг ҳеч бир қийинчилиги йўқ, чунки координата системаларини масалани ечиш учун қулай қилиб танлаш бизнинг ўзимизга боғлиқ). Вақтни ҳисоблашни координата ўқларининг бошлари устма-уст тушган моментдан бошлаймиз. Бирор t вақт ўтгандан кейин системалар 46-расмда кўрсатилгандек жойлашсин. Бу вақт давомида K' система K га нисбатан x ўқи йўна-



46- расм.

лишида $\vec{r}_0 = \vec{u}t$ векторга кўчади. Энди A нуқтанинг ҳар иккала системадаги координаталари орасидаги боғланишни топайлик. 46- расмдан кўриниб турибдики,

$$\vec{r} = \vec{r}' + \vec{r}_0 = \vec{r}' + \vec{u}t. \qquad (31.1)$$

Тенгликни координата ўқларидаги проекциялари ёрдамида ёзамиз:

$$\begin{aligned} x &= x' + ut, \\ y &= y', \\ z &= z', \end{aligned} \qquad (31.2)$$

бу ерда ҳаракат x ўқи йўналишида бўлганлиги учун $u_x = u$, $u_y = 0$, $u_z = 0$ эканлигини эътиборга олдик. Ёзилган тенгламалар *координаталар учун Галилей алмаштиришлари* дейилади. Агар классик механикада вақтнинг ўтиши саноқ системасининг ҳаракатига боғлиқ эмаслигини эътиборга олсак, унда юқоридаги тенгламаларга $t = t'$ ни ҳам қўшиш мумкин. Унда Галилей алмаштиришлари қуйидаги кўринишни олади. Шундай қилиб, K', $\rightarrow K$ учун

$$\begin{aligned} x &= x' + ut, \\ y &= y', \\ z &= z', \\ t &= t'. \end{aligned} \qquad (31.3)$$

Тезлик ва тезланишни алмаштириш. Моддий нуқтанинг бир саноқ системасидаги тезлиги $\vec{v}'$ ни билган ҳолда унинг иккинчи саноқ системасидаги тезлиги $\vec{v}$ ни аниқлаш муҳим аҳамиятга эга бўлади. Масалан, $\vec{u}$ тезлик билан ҳаракатланаётган поезд ичида $\vec{v}'$ тезлик билан юраётган одамнинг вокзалдаги кузатувчига нисбатан тезлиги $\vec{v}$ қуйидагича аниқланади:

$$\vec{v} = \vec{v}' + \vec{u}. \qquad (31.4)$$

Бу ифода классик механикада тезликларни қўшиш қоидасини ифодалайди.

Шунингдек, A нуқтанинг ҳар иккала саноқ системасидаги тезланиши бир-бирига тенг:

$$\vec{a} = \vec{a}'. \qquad (31.5)$$

Шундай қилиб, агар K системада A нуқтага ҳеч қандай куч таъсир этмаса ($\vec{a} = 0$), унда K' системада ҳам унга ҳеч қандай куч таъсир этмайди $(\vec{a} = \vec{a}' = 0)$.

Классик механикада инвариант катталиклар. Инвариант сўзи лотинча бўлиб, invariantis — ўзгармайдиган деган маънони англатади. Классик механикада қандай катталиклар бир саноқ системасидан иккинчисига ўтганда ўзгармайди? (31.5) муносабатнинг кўрсатишича: **бир саноқ системасидан иккинчисига ўтганда классик динамика тенгламалари ўзгармайди, яъни улар координаталар ўзгаришига нисбатан инвариантдир.**

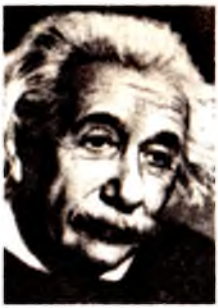
Демак, (31.5) ифода механикада нисбийлик принципининг исботи бўлиб, механик жараёнлар барча инерциал саноқ системаларида бир хилда рўй беришини кўрсатади. Галилей ибораси билан айтганда, инерциал саноқ системасининг ичида ўтказилган ҳеч қандай механик тажриба унинг тинч ёки тўғри чизиқли текис ҳаракат қилаётганлигини аниқлашга имкон бермайди. Мисол учун тўғри чизиқли текис ҳаракат қилаётган поезд купесида туриб, деразадан нигоҳ ташламагунча, поезднинг тинч турганлиги ёки ҳаракат қилаётганлигини аниқлай олмаймиз.

Шунингдек, классик механикада вақт $t = t'$ ва кесманинг узунлиги $l = x_2 - x_1 = (x_2' + ut) - (x_1' + ut) = (x_2' - x_1') = l'$ инвариант катталиклардир.

Синов саволлари

1. Махсус нисбийлик назариясида қандай ҳаракат ўрганилади? 2. Инерциал саноқ системаси деб қандай системаларга айтилади? 3. Галилейнинг нисбийлик принципи деб нимага айтилади? 4. Координаталар учун Галилей алмаштиришлари. 5. Нима учун ҳаракат x ўқи йўналишида деб танлаб олдик? 6. Классик механикада тезликларни қўшиш қоидаси. 7. Классик механикада тезланишни алмаштириш қоидаси. 8. Агар K системада жисмга куч таъсир этмаса, K' да таъсир этадими? 9. Инвариант катталиклар деб қандай катталикларга айтилади? 10. Классик механикада қандай катталиклар инвариант катталиклар бўлади? 11. Инерциал саноқ системаси ичида ўтказилган тажриба системанинг тинч ёки тўғри чизиқли текис ҳаракат ҳолатида эканлигини аниқлашга имкон берадими? 12. Классик механикада яна қандай инвариант катталиклар бор?

32- §. Махсус нисбийлик назариясининг постулатлари



А. Эйнштейн

(1879 — 1955)

Мазмуни: тезликларни қўшиш; А.Эйнштейннинг хулосаси; махсус нисбийлик назариясининг постулатлари.

Тезликларни қўшиш. Тезликлари ёруғликнинг бўшлиқдаги тезлигидан жуда кичик бўлган ($v << c$) макрожисмларнинг ҳаракатини ажойиб тарзда тушунтириб бера олган Ньютон механикаси XIX асрнинг охирларидан бошлаб баъзи қийинчиликларга дуч кела бошлади. Уларнинг энг оддийси тезликларни қўшиш формуласи (31.4) да намоён бўлди. Агар ёруғлик манбаи ва уни қабул қилувчи бир-бирларига нисбатан тўғри чизиқли текис ҳаракат қилаётган бўлса, унда ўлчанган тезлик уларнинг бир-бирларига нисбатан ҳаракатларига боғлиқ бўлиши керак. Мисол учун биз томонга ёруглик тезлигига тенг тезлик билан ($u = c$) яқинлашиб келаётган паровоз ёритгичидан чиқаётган ёругликнинг ($v' = c$) бизга нисбатан тезлиги (v) нимага тенг бўлади? (31.4) ифодага мувофиқ

$$v = v' + u = c + c + 2c, \qquad (32.1)$$

яъни ёруғликнинг бизга нисбатан тезлиги унинг вакуумдаги тезлигидан икки марта катта бўлиши керак. Тажрибалар бу натижанинг мутлақо нотўғрилигини кўрсатди.

А. Эйнштейннинг хулосаси. Мавжуд муаммони ҳал этиш ҳақида чуқур мулоҳаза юритган А. Эйнштейн шундай янги механикани яратмоқ керакки, унинг қонунлари чегаравий ҳол, яъни кичик тезликлар ҳолида ($v << c$) классик механика қонунлари билан мос келсин деган хулосага келди.

Фазо ва вақтнинг уйғунлиги ҳақида янгича тасаввурлар юритиш зарурлигини тушунган А. Эйнштейн 1905 йилда «Ҳаракатланувчи муҳитнинг электродинамикаси» номли ишини эълон қилди. Ишда махсус нисбийлик назариясининг асослари баён қилинган эди. Махсус сўзи, назарияда, фақатгина инерциал саноқ системаларида рўй берадиган ҳодисаларгагина қаралишини таъкидлайди. Шу билан бирга, махсус нисбийлик назариясида фазо ва вақтнинг хусусиятлари: фазонинг бир жинслилиги ва изотроплиги, вақтнинг бир жинслилиги асос қилиб олинган. Махсус нисбийлик назариясини кўпинча релятивистик назария, унинг эффектларини эса релятивистик эффектлар ҳам деб аташади.

Махсус нисбийлик назариясининг постулатлари. 1905 йилда А. Эйнштейн томонидан ёзилган қуйидаги иккита постулат (исботсиз қабул қилинадиган таъкид) махсус нисбийлик назариясининг асосини ташкил килади:

I. Нисбийлик принципи. Инерциал саноқ системасининг ичида ўтказилган ҳеч қандай (механик, электрик, оптик бўлишидан қатъи назар) тажриба ушбу система тинч ёки тўғри чизиқли текис ҳаракат қилаётганлигини аниқлашга имкон бермайди; табиатнинг барча қонунлари бир инерциал саноқ системасидан иккинчисига ўтишга нисбатан инвариантдир.

II. Ёруғлик тезлигининг инвариантлик принципи. Ёругликнинг вакуумдаги тезлиги, ёруғлик манбаининг ҳам, кузатувчининг ҳам ҳаракат тезлигига боғлиқ эмас ва барча инерциал саноқ системаларида бир хил.

Ушбу постулатларга баъзан Эйнштейн постулатлари ҳам дейилади.

Синов саволлари

1.Классик механикадаги тезликларни қўшиш формуласи ёруғлик тезлигига яқин тезликлар учун ўринлими? 2. А. Эйнштейннинг хулосаси. 3. У махсус нисбийлик назариясини қачон эълон қилди? 4. Махсус сўзи нимани англатади? 5. Релятивистик назария деб қандай назарияга айтилади? Релятивистик эффект деб-чи? 6. Постулат сўзи нимани англатади? 7. Эйнштейннинг биринчи постулати? 8. Эйнштейннинг иккинчи постулати.

33- §. Лоренц алмаштиришлари ва уларнинг натижалари

М а з м у н и : координаталар учун Лоренц алмаштиришлари; координаталар учун Лоренц алмаштиришларидан чиқадиган хулосалар; узунликнинг нисбийлиги; вақт интервалининг нисбийлиги; вақт интервали нисбийлигининг натижалари.

Координаталар учун Лоренц алмаштиришлари. Исталган K' инерциал саноқ системасида рўй берган ҳодисанинг координаталари (x', y', z', t') лар орқали шу воқеанинг системадаги K координата (x, y, z, t) ларни топиш керак бўлсин. K' система K га нисбатан x ўқи йўналишида u = const тезлик билан ҳаракатланмоқда. Бу масала классик механикада Галилей алмаштиришлари (31.3) ёрдамида ечилади.

Аммо (31.3) ифода ёруглик сигнали чексиз катта тезлик билан тарқалади деган мулоҳаза асосида ҳосил қилинган. Махсус нисбийлик назариясида ёруғлик тезлиги чекли эканлиги қайд этилгандан сўнг координаталар учун янги алмаштириш формулаларини ёзишга тўғри келди. Бу формулалар координаталар учун Лоренц алмаштиришлари дейилади ва улар қуйидаги кўринишга эга. Алмаштиришлар уларни ёзган нидерландиялик физик Х. Лоренц (1853 — 1928) шарафига шундай номланган:

$$\begin{cases} x = \dfrac{x' + ut'}{\sqrt{1-\beta^2}} \\ y = y', \\ z = z', \\ t = \dfrac{t' + \left(\dfrac{u}{c^2}\right)\cdot x'}{\sqrt{1-\beta^2}} \end{cases} \qquad (33.1)$$

Бу ерда $\beta = \frac{u}{c}$ белгилаш киритилган. Классик ва релятивистик механикадаги алмаштириш формулаларини таққослаш учун уларни битта жадвалда жамлаймиз.

3-жадвал

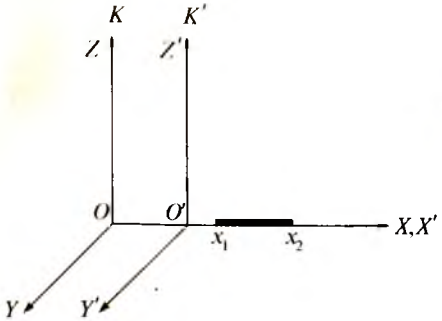
$K' \to K$ ўтиш учун	
Галилей алмаштиришлари	Лоренц алмаштиришлари
$x = x' + vt$	$x = \dfrac{x' + ut'}{\sqrt{1-\beta^2}}$
$y = y'$	$y = y'$
$z = z'$	$z = z'$
$t = t'$	$t = \dfrac{t' + \left(\dfrac{u}{c^2}\right)\cdot x'}{\sqrt{1-\beta^2}}$

Координаталар учун Лоренц алмаштиришларидан келиб чиқадиган хулосалар. Жадвалда келтирилган Галилей ва Лоренц алмаштиришларини таққослаб қуйидаги хулосаларни чиқариш мумкин:

1) $u << c$ ($\beta \approx 0$) да Лоренц алмаштиришлари Галилей алмаштиришларига ўтади, яъни махсус нисбийлик назарияси классик механикани инкор этмайди, балки уни кичик тезликлар $u << c$ учун хусусий ҳол сифатида эътироф этади;

2) Лоренц алмаштиришларининг кўрсатишича, u ёруглик тезлиги c га тенг, ҳатто ундан катта ҳам бўлиши мумкин эмас. Акс ҳолда илдиз остидаги ифода нолга тенг бўлиб қолади. $u > c$ да эса у манфий сон бўлиб, Лоренц алмаштиришлари ўз маъносини йўқотади. Шунинг учун ҳам ёруғликнинг вакуумдаги тезлиги энг катта тезлик ва унга эришиш мумкин эмас деб эътироф этилади;

3) Галилей алмаштиришлари учун абсолют ҳисобланган вақт оралиги ва масофа релятивистик механикада бундай хусусиятини йўқотади. Бошқача айтганда, классик механикада иккита воқеа ора-



47-расм.

сидаги масофа ва улар орасидаги вақт бир инерциал саноқ системасидан бошқасига ўтганда ўзгармай қолса, релятивистик механикада бу қоида бузилади. Бундай хулоса чиқаришимизга сабаб, координатани топиш формуласида вақт, вақтни топиш формуласида эса координатанинг иштирок этаётганлигидир. x ни топиш формуласида t', t ни топиш формуласида эса x' иштирок этган. Шундай қилиб, Эйнштейн назарияси, уч ўлчамли фазо ва унга қўшилган вақтдан иборат координата системасида эмас, балки фазо+вақтдан иборат тўрт ўлчамли фазода ўринлидир. Бу билан релятивистик механика фазо ва вақт орасида янгича уйғунлик мавжудлигини таъкидлайди.

Узунликнинг нисбийлиги. K' системага нисбатан тинч турган, x' ўқи бўйлаб жойлашган таёқчани қараймиз. K' системада таёқчанинг узунлиги $l_0 = x'_2 - x'_1$ бўлади, бу ерда x'_1 ва x'_2 — таёқчанинг K' саноқ системасида t' даги координаталари, 0 индекс таёқчанинг K' системада тинч туришини ифодалайди (47-расм). Таёқча ва K' система K системага нисбатан u тезлик билан ҳаракатланади. K системада таёқча узунлигини аниқлайлик. Бунинг учун t пайтда таёқчанинг K системадаги учларининг координаталари x_1 ва x_2 ларни ўлчаш керак. Уларнинг фарқи $l = x^2 - x^1$ шу K системада таёқча узунлигини беради. Лоренц алмаштиришларидан фойдаланиб топамиз.

$$l_0 = x'_2 - x'_1 = \frac{x_2 - ut}{\sqrt{1-\beta^2}} - \frac{x_1 - ut}{\sqrt{1-\beta^2}} = \frac{x_2 - x_1}{\sqrt{1-\beta^2}} = \frac{l}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

ёки

$$l_0 = \frac{l}{\sqrt{1-\beta^2}}. \qquad (33.2)$$

Топилган ифода ҳақида мулоҳаза юритиш учун махраждаги катталикни баҳолайлик: $v < c$ бўлганлиги учун $\frac{v}{c} < 1$ бўлади. Бирдан кичик соннинг квадрати ҳам бирдан кичик $\left(\frac{v}{c}\right)^2 = \frac{v^2}{c^2} < 1$. Бирдан ундан кичик сонни айирсак, натижа ҳам бирдан кичик бўлади: $1 - \frac{v^2}{c^2} < 1$. (Бу ифоданинг нолга тенг ёки нолдан кичик бўла олмаслиги маълум.) Бу сондан квадрат илдиз олинса, натижа ҳам бирдан кичик бўлади:

$$\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}=\sqrt{1-\beta^2}<1. \qquad (33.3)$$

l ни бирдан кичик сонга бўлсак (албатта, бирдан кичик, нолдан катта), натижа бўлинувчидан катта бўлиши маълум. Демак,

$$\frac{l}{\sqrt{1-\beta^2}} \qquad (33.4)$$

ифода l дан каттароқ бўлиши керак. Бундан

$$l_0 > l$$

бўлар экан. Шундай қилиб, таёқчанинг ўзи тинч турган саноқ системаси K' даги узунлиги l_0, у ҳаракатланаётган K саноқ системасидаги узунлиги l га нисбатан каттароқ бўлиб чиқди ёки гўёки таёқча ҳаракатланаётган системада унинг узунлиги қисқаргандек бўлди. Инерциал саноқ системасига нисбатан ҳаракатланаётган таёқчанинг узунлиги ҳаракат йўналиши бўйлаб $\sqrt{1-\beta^2}$ марта қисқарар экан. Бу қисқариш узунликнинг Лоренц қисқариши дейилади. Ҳаракат тезлиги u қанча катта бўлса, қисқариш ҳам шунча катта бўлади.

Демак, классик физикада абсолют бўлган, яъни барча инерциал саноқ системаларида бир хил бўлган таёқча узунлиги махсус нисбийлик назариясида нисбий, яъни турли инерциал саноқ системаларида турлича бўлиб чиқди.

Вақт интервалининг нисбийлиги. K системада тинч турган бирор нуқтада (координатаси X) бирор ҳодиса рўй берсин. Ҳодиса t_1 вақтда бошланиб, t_2 вақтда тугасин (соатнинг ҳодиса бошланган ва тугаган вақтдаги кўрсаткичлари). Ҳодисанинг давом этиш интервали $t = t_2 - t_1$ га тенг бўлади. Шу ҳодиса K' системада

$$t' = t'_2 - t'_1 \qquad (33.5)$$

вақт давом этади. t ва t' бир-бири билан қуйидагича боғланган.

$$t' = \frac{t}{\sqrt{1-\beta^2}}. \qquad (33.6)$$

Олдинги банддаги мулоҳазаларимизга асосан (33.3) ни назарга олсак $t' > t$ бўлишини кўрамиз. Демак, K системадаги соат ёрдамида ҳисобланган t вақт интервали K' системадаги соат билан иш кўрувчи кузатувчи нуқтаи назаридан t га нисбатан узоқроқ давом этади. Бошқача айтганда, инерциал саноқ системасига нисбатан ҳаракатланаётган соат тинч турган соатга нисбатан секинроқ юради, яъни соат юриши секинлашади.

Шундай қилиб, классик механикада абсолют бўлган вақт интервали, махсус нисбийлик назариясида нисбий тушунчага айланади.

Вақт интервали нисбийлигининг натижалари. Соат юришининг секинлашуви ҳақидаги релятивистик эффект маълум бўлгандан сўнг «эгизаклар парадокси» муаммоси вужудга келди (парадокс — ғайритабиий фикрни англатади). Ердан 500 ёруғлик йили масофасида бўлган юлдузга (ёруглик юлдуздан Ергача 500 йилда етиб келади)

ёруғлик тезлигига яқин тезлик билан $\sqrt{1-\beta^2} = 0{,}001$ фазовий парвоз уюштирилаётган бўлсин. Ердаги соат ёрдамида ҳисобланганда бу парвоз $\tau' = 1000$ йил давом этади. Космонавт учун эса $t = \sqrt{1-\beta^2} \cdot t = 0{,}001 \cdot 1000$ йил $= 1$ йилгина давом этади.

Агар саёҳатга янги тугилган эгизаклардан бири учиб кетган бўлса, у атиги 1 ёшгина улгайган бир пайтда иккинчи эгизак 1000 йил яшаб қўяди. Аслида нима бўлади? Буни физикани чуқурроқ ўрганиб билиб олишингиз мумкин.

Синов саволлари

1. Координаталар учун Галилей алмаштиришлари. 2. Координаталар учун Лоренц алмаштиришлари. 3. Қандай шартларда Лоренц алмаштиришлари Галилей алмаштиришларига ўтади? 4. Ёругликнинг вакуумдаги тезлигига эришиш мумкинми? 5. Классик механикада инвариант бўлган узунлик ва вақт интервали релятивистик механикада ҳам инвариант бўладими? 6. Уларнинг инвариант эмаслигини нимага асосланиб айтиш мумкин? 7. Эйнштейн назарияси қандай фазода ўринли? 8. Таёқча узининг энг катта узунлигига қайси саноқ системасида эга бўлади? 9. Узунликнинг Лоренц қисқариши деб нимага айтилади? 10. Таёқчанинг узунлиги системанинг ҳаракат тезлигига боғлиқми? 11. Вақт интервалининг нисбийлиги. 12. Вақт интервали қайси системада энг кичик бўлади? 13. Қачон соат юриши секинлашади? 14. «Эгизаклар пародокси» ни биласизми?

34- §. Тезликларни қўшишнинг релятивистик формуласи

Мазмуни: тезликларни қўшиш формулалари; тезликларни қўшиш формулаларининг натижалари.

Тезликларни қўшиш формулалари. 32- § да классик физикадаги тезликларни қўшиш формуласи

$$\vec{v} = \vec{v}' + \vec{u} \tag{34.1}$$

ёруғлик тезлигига яқин тезликлар учун тажрибалар натижалари билан мос келмаслиги ҳақида ёзилган эди. Бу ерда $\vec{v}$ ва $\vec{v}'$ жисмнинг K ва K' инерционал саноқ системаларидаги тезликлари, $\vec{u}$ — системаларининг бир-бирларига нисбатан ҳаракат тезликлари.

Лоренц алмаштиришлари ёрдамида топилган тезликларни қўшиш формуласи қуйидаги кўринишга эга:

$$v = \frac{v' + u}{1 + \frac{u \cdot v'}{c^2}}. \tag{34.2}$$

Ушбу ифода *тезликларни қўшишнинг релятивистик формуласи* дейилади.

(34.2) формуладан кўриниб турибдики, агар v, v' ва u тезликлар ёруғлик тезлигидан жуда кичик бўлса,

$$\frac{u \cdot v'}{c^2} << 1$$

бўлади ва ифоданинг махражи бирга тенг бўлиб, (34.2) ифода классик механикадаги тезликларни қўшиш формуласи (34.1) га ўтади.

Тезликларни қўшиш формуласининг натижаси. Тезликларни қўшиш учун топилган (34.2) ифода классик физикадаги тезликларни қўшиш формуласининг камчиликларини бартараф қила оладими? Буни текшириб кўриш учун 32- § да кўрган мисолимизга қайтайлик.

Ушбу мисолга мувофиқ $v' = u = c$ ва v ни топамиз (34.2) га асосан

$$v = \frac{c + c}{1 + \frac{c \cdot c}{c^2}} = \frac{2c}{1 + 1} = c,$$

яъни поезд ёритгичидан чиқаётган ёруғликнинг тезлиги c га тенг бўлиб қолаверади. Демак, ёруғликнинг вакуумдаги тезлиги $c = 3 \cdot 10^8$ м/с чегаравий тезлик бўлиб, унда катта тезликка эришиш мумкин эмас.

Синов саволлари

1.Тезликларни қўшишнинг релятивистик формуласи. 2. Тезликларни қўшишнинг релятивистик формуласи кичик тезликларда классик механикадаги тезликларни қўшиш формуласига ўтадими? 3. Тезликларни қўшишнинг релятивистик формуласи классик механикадаги тезликларни қўшиш формуласининг муаммоларини еча оладими? 4. Ёруғликнинг вакуумдаги тезлигидан катта тезликка эришиш мумкинми?

35- §. Релятивистик масса ва релятивистик импульс

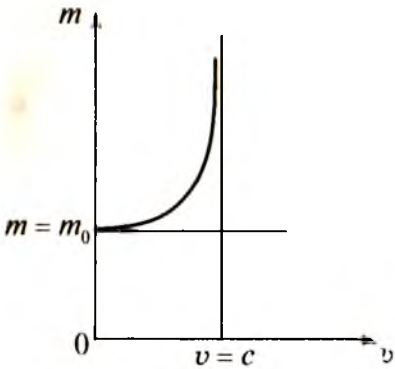
Мазмуни: релятивистик масса; релятивистик импульс; масса ва энергиянинг боғланиши; кинетик энергия.

Релятивистик масса. Классик механика тасаввурларига мувофиқ масса ўзгармас катталикдир. Лекин 1901 йилда ўтказилган тажрибалар ҳаракатланаётган электроннинг тезлиги ортиши билан массаси ҳам ортиб боришини кўрсатди.

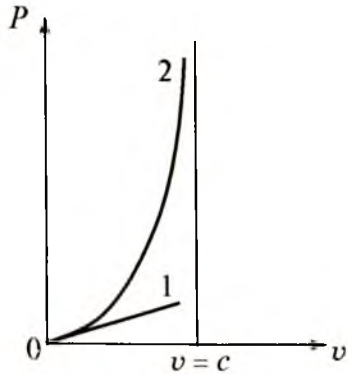
Ҳаракатланаётган жисм массасининг унинг ҳаракат тезлигига боғлиқлиги қуйидаги формула билан ифодаланади:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}}. \qquad (35.1)$$

Бу ерда: m — жисмнинг ҳаракатдаги массаси, $\beta = \frac{v}{c}$ v — ҳаракат тезлиги, m_0 — тинчликдаги массаси, яъни жисм тинч турган саноқ



48- расм.



49- расм.

системасига нисбатан массаси. (35.1) дан кўриниб турибдики, $\upsilon << c$ да $\beta << 1$ ва $m = m_0$ бўлади. Демак, жисм массасининг тезликка боғлиқлиги ёруғлик тезлигига яқин тезликдагина намоён бўлади. Массанинг тезликка боғлиқлиги 48- расмда кўрсатилган.

Классик механикадаги каби релятивистик механикада ҳам масса инертлик ўлчовидир. Релятивистик динамикада тезлик ортиши билан инертлик ҳам ортади, яъни тезлик қанча катта бўлса, уни орттириш янада қийинлашади. $\upsilon = c$ бўлганда эса масса чексизликка интилади. Шунинг учун ҳам тинчликдаги массаси нолга тенг бўлмаган ($m_0 \neq 0$) бирорта ҳам жисм ёруғликнинг вакуумдаги тезлигига тенг бўлган тезлик билан ҳаракатлана олмайди. Бундай тезлик билан ҳаракатланадиган фақатгина битта зарра мавжуд. У ҳам бўлса тинчликдаги массаси нолга тенг бўлган зарра — фотондир. Фотонлар вакуумда, доимо ёруғлик тезлигига тенг бўлган тезлик билан ҳаракатланади.

Релятивистик импульс. Релятивистик импульс қуйидаги ифода билан аниқланади:

$$\vec{p} = m\vec{\upsilon} = \frac{m_0}{\sqrt{1-\beta^2}}\vec{\upsilon}. \qquad (35.2)$$

Классик механикада импульс эса

$$\vec{p} = m_0\vec{\upsilon} \qquad (35.3)$$

ифода билан аниқланган эди. Уларнинг фарқини кўриш учун импульснинг тезликка боғлиқлик графигини чизамиз. 49-расмдаги 2-чизиқ (35.2) ифодага мувофиқ релятивистик импульснинг тезликка боғлиқлигини, 1- чизиқ эса (35.3) га мувофиқ классик механикадаги импульснинг тезликка боғлиқлигини ифодалайди. Улардан кўриниб турибдики, кичик тезликларда $\upsilon << c$ импульсларнинг қийматлари мос келади.

Фазонинг бир жинслилиги натижасида релятивистик механикада ҳам релятивистик импульснинг сақланиш қонуни бажарилади: **ёпиқ системанинг релятивистик импульси сақланади, яъни вақт ўтиши билан ўзгармайди.**

Масса ва энергиянинг боғланиши. Релятивистик механикада тезликнинг ўзгариши массанинг ўзгаришига, бу эса ўз навбатида тўла энергиянинг ўзгаришига олиб келади. Демак, тўла энергия E ва масса m орасида ўзаро боғланиш мавжуд. Бу боғланиш табиатнинг фундаментал қонуни бўлиб, Эйнштейн томонидан аниқланган ва қуйидаги кўринишга эга:

$$E = mc^2 \tag{35.4}$$

Системанинг тўла энергияси унинг массасининг ёруғликнинг вакуумдаги тезлигининг квадрати кўпайтмасига тенг.

Ёки

$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \beta^2}}. \tag{35.5}$$

Исталган жисмга, у ҳаракатдами (массаси m) ёки тинчликдами (массаси m_0), маълум энергия мос келади.

Агар жисм тинч ҳолатда бўлса, унинг тинчликдаги энергияси

$$E_0 = m_0 c^2 \tag{35.6}$$

каби аниқланади. Жисмнинг тинчликдаги энергияси унинг хусусий энергиясидир. Классик механикада тинчликдаги энергия E_0 ҳисобга олинмайди, чунки $\upsilon = 0$ да тинчликдаги жисмнинг энергияси нолга тенг деб ҳисобланади.

Кинетик энергия. Релятивистик механикада жисмнинг тўла энергияси қуйидагича аниқланади:

$$E = E_к + E_0 \tag{35.7}$$

Жисмнинг кинетик энергияси $E_к$ эса унинг ҳаракатдаги энергияси E ва тинчликдаги энергияси E_0 нинг фарқи сифатида аниқланади:

$$E_к = E - E_0 = mc^2 - m_0 c^2 = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} - 1 \right). \tag{35.8}$$

$\upsilon << c$ да (35.8) формула кинетик энергиянинг классик механикадаги

$$E_к = \frac{m_0 \upsilon^2}{2}$$

ифодасига ўтади.

Вақтнинг бир жинслилигининг натижасида классик механикадаги каби, релятивистик механикада ҳам энергиянинг сақланиш қонуни бажарилади: ёпиқ системанинг тўла энергияси сақланади, яъни вақт ўтиши билан ўзгармайди.

Синов саволлари

1. Классик механикада масса ўзгарадими? 2. Релятивистик механикада-чи? 3. Ҳаракатланаётган жисмнинг массаси қандай ўзгаради? 4. Жисм массасининг тезликка боғлиқлиги қачон намоён бўлади? 5. Массанинг ортишини қандай тушунтирасиз? 6. Тинчликдаги массаси нолдан фарқли бўлган жисм нима учун ёруғликнинг вакуумдаги тезлигига тенг тезлик билан ҳаракатлана олмайди? 7. Фотонлар қандай зарралар? 8. Релятивистик импульс қандай аниқланади? 9. Релятивистик импульснинг сақланиш қонуни бажариладими? 10. Релятивистик ва классик импульслар қачон мос келади? 11.Тезликнинг ўзгариши энергиянинг ўзгаришига олиб келадими? 12. Энергия ва масса орасидаги боғланиш. 13. Жисмнинг тинчликдаги энергияси нимага тенг? 14. Релятивистик механикада жисмнинг тўла энергияси нимага тенг? 15. Релятивистик механикада жисмнинг кинетик энергияси нимага тенг?

Масала ечиш намуналари

1-масала. 0,97c тезликли электрон у томонга қараб 0,5c тезлик билан ҳаракатланаётган протонга қарама-қарши бормоқда. Улар ҳаракатининг нисбий тезлиги аниқлансин.

Берилган:

$u_e = 0{,}97$;

$u_p = 0{,}5c$;

———————

$\upsilon = ?$

Ечиш: Тезликларни релятивистик қўшиш формуласи қуйидаги кўринишга эга:

$$\upsilon = \frac{\upsilon' + u}{1 + \frac{u \cdot \upsilon'}{c^2}}.$$

Берилган масалада K системани электронга бириктирамиз. Унда K' системанинг K га нисбатан тезлиги $u = u_e$ га тенг бўлади. Протоннинг K' системага нисбатан тезлиги $\upsilon' = u_p$ бўлади. Биздан эса протоннинг K системага нисбатан тезлиги υ ни топиш сўралган. Шундай қилиб, берилганлардан ва ёруғликнинг бўшлиқдаги тезлиги $c = 3 \cdot 10^8$ м/с эканлигидан фойдаланса,

$$\upsilon = \frac{0{,}5c + 0{,}97c}{1 + \frac{0{,}5c + 0{,}97c}{c^2}} = 0{,}99c = 2{,}97 \cdot 10^8 \text{ м / с}.$$

Жавоб. $\upsilon = 2{,}97 \cdot 10^8$ м/с.

2-масала. Агар зарранинг релятивистик массаси тинчликдаги массасидан уч марта катта бўлса, зарра қандай υ тезлик билан ҳаракатланади?

Берилган:

$$\frac{m}{m_0} = 3$$

$$\upsilon = ?$$

Ечиш. Релятивистик масса қуйидагича аниқланади:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{\upsilon^2}{c^2}}}.$$

Бу ифодадан υ ни топиб оламиз:

$$\upsilon = c \cdot \sqrt{1 - \frac{1}{\left(\frac{m}{m_0}\right)^2}}.$$

Берилганларни ва ёруғликнинг вакуумдаги тезлиги $c = 3 \cdot 10^8$ м/с ни ҳисобга олиб топамиз:

$$\upsilon = 3 \cdot 10^8 \sqrt{1 - \frac{1}{3^2}} \frac{\text{м}}{\text{с}} = 2{,}83 \cdot 10^8 \text{ м / с}.$$

Мустақил ечиш учун масалалар

1. Таёқча инерциал саноқ системасига нисбатан ўзгармас тезлик билан бўйлама йўналишда ҳаракатланмоқда. Тезликнинг қандай қийматида таёқчанинг шу системадаги узунлиги тинч турган таёқча узунлигидан бир фоизга кам бўлади? (υ = 423000 км/с.)
2. Фазовий кема ичида, учишгача Ердаги соат билан тенглаштирилган соат бор. Фазовий кеманинг тезлиги 7,9 км/с бўлса, Ердаги кузатувчи ўз соати билан 0,5 йилни ўлчаганда, кемадаги соат қанча орқага қолади. ($\tau = 5{,}7 \cdot 10^{-3}$с.)
3. 0,6 с тезлик билан ҳаракатланаётган электроннинг релятивистик импульси аниқлансин. ($P = 2{,}05 \cdot 10^{-22}$ кг · м/с.)
4. 0,8 с тезлик билан ҳаракатланаётган электроннинг кинетик энергияси аниқлансин. (T = 0,34 МэВ.)

МОЛЕКУЛЯР ФИЗИКА ВА ТЕРМОДИНАМИКА АСОСЛАРИ

Молекуляр физика ва термодинамика, физиканинг, жисмлардаги макроскопик жараёнлар, улар ташкил топган улкан миқдордаги атомлар ва молекулаларнинг хаотик ҳаракати ва ўзаро таъсирларига боғлиқ деб ўрганадиган бўлимларидир. Бу жараёнларни ўрганиш учун икки хил усулдан фойдаланилади: биринчиси — молекуляр-кинетик усул, унинг асосида молекуляр физика ётади; иккинчиси эса термодинамик усул, унинг асосида термодинамика ётади.

Молекуляр физика — физиканинг моддаларнинг тузилиши ва хоссалари улар ташкил топган молекулаларнинг узлуксиз-бетартиб ҳаракатларининг натижасидир деб ҳисобланувчи тасаввурлар асосида ўрганувчи бўлимидир.

Молекуляр физикада ўрганилаётган жараёнлар жуда кўп миқдордаги зарралар ҳаракатининг натижасидир. Шунинг учун ҳам макроскопик системанинг хоссалари шу система зарралари ҳаракати характеристикаларининг (тезлик, энергия ва ҳоказо) ўртача қийматлари билан аниқланади. Мисол учун жисмнинг температураси у ташкил топган молекулаларнинг бетартиб ҳаракати билан аниқланади. Лекин исталган онда молекулаларнинг ўртача тезликлари ҳақида гапириш мумкин бўлса-да, битта молекуланинг температураси ҳақида гапириш маънога эга эмас.

Термодинамика — физиканинг термодинамик мувозанат ҳолатида бўлган макроскопик системаларнинг умумий хоссалари ва бу ҳолатлар ўртасидаги ўтиш жараёнларини ўрганадиган бўлимидир. У тажриба натижаларини умумлаштириш асосида топилган фундаментал қонунлар — термодинамика қонунларига таяниб иш кўради.

IX БОБ. МОЛЕКУЛЯР-КИНЕТИК НАЗАРИЯ АСОСЛАРИ

Юқорида қайд этилганидек, барча моддаларнинг тузилиши ва хоссалари улар ташкил топган, бетартиб ҳаракатдаги молекулаларга боғлиқ. Ўтказилган кўплаб тажрибалар ва назарий хулосалар молекуляр-кинетик назариянинг асосида ётувчи қуйидаги учта қоиданинг яратилишига олиб келди:

1. Барча моддалар жуда кичик зарралар — атомлар ва молекулалардан ташкил топган. Ўз навбатида улар ҳам янада кичикроқ зарралардан (электронлар, протонлар, нейтронлар) ташкил топган.

2. Моддаларнинг атомлари ва молекулалари доимо узлуксиз хаотик ҳаракат ҳолатида.

3. Исталган моддаларнинг зарралари орасида ўзаро таъсир — тортишиш ва итариш кучлари мавжуддир. Бу кучлар электромагнит табиатга эга.

36- §. Молекуланинг характеристикалари. Молекуланинг катталиги

Мазмуни: молекуланинг ўлчамлари ва массаси; модда миқдори; Авогадро сони ва Авогадро қонуни; нормал шароит; молекуляр масса; Лошмидт сони.

Молекулаларнинг ўлчамлари. Молекуланинг ўлчамлари жуда кичик бўлгани учун уларни оддий кўз билан кўриш мумкин эмас. Энг катта молекулалар электрон микроскоп ёрдамида суратга олинган. Энг нозик тажрибаларнинг кўрсатишича, икки атомли кислород молекуласининг чизиқли катталиги $4 \cdot 10^{-10}$ м атрофида. Умуман, молекулаларнинг чизиқли катталиги $10^{-8} \div 10^{-10}$ м бўлади.

Шуни таъкидлаш лозимки, молекула ўз навбатида атомлардан ташкил топади. Атомлар эса ядро ва унинг атрофида ҳаракатланувчи электронлардан иборат бўлади.

Молекуланинг массаси. Алоҳида молекулаларнинг массалари жуда кичик бўлиб, махсус асбоб — масса-спектрометрлар ёрдамида аниқланади. Масалан, сув молекуласининг массаси $3 \cdot 10^{-26}$ кг атрофида. Шунинг учун ҳам физикада, молекулалар массаларининг абсолют қийматлари билан эмас, балки ўлчамсиз нисбий катталиги билан иш кўрилади, чунки бу ҳисоб-китобни анча осонлаштиради. Халқаро келишувларга асосан эталон, яъни бирлик атом массаси m_0 сифатида углерод ^{12}C изотопи (атомар) массасининг 1/12 қисми қабул қилинган:

$$m_0 = \frac{1}{12} m_{oC} = 1{,}66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}.$$

Исталган молекуланинг нисбий массаси M_0 ни аниқлаш учун молекула массасининг абсолют қиймати $m_{моль}$ ни бирлик атом массаси m_0 га бўлиш керак:

$$M_0 = \frac{m_{моль}}{m_0}.$$

Худди шунингдек, нисбий атом массаси A_0 ни аниқлаш учун эса атом массасининг абсолют қиймати $m_{ат}$ ни бирлик атом массаси m_0 га бўлиш керак:

$$A_0 = \frac{m_{ат}}{m_0}.$$

Модда миқдори. Моддалар улкан миқдордаги молекулалардан ташкил топганлиги ва ўз навбатида турли моддалар молекулалари массаларининг тенг эмаслиги уларни солиштиришда катта қийинчиликлар тугдиради. Айнан шу қийинчиликни енгиш мақсадида

таркибида бир хил N_A та молекула бўлган модда миқдори тушунчаси киритилади. Модда миқдори — моддадаги молекулалар сонининг 0,012 кг углероддаги молекулалар сони N_A га нисбати билан аниқланадиган катталиқдир. Модда миқдори ν ҳарфи билан белгиланади. Унинг СИ даги бирлиги $[\nu]$=1 моль. 1 моль — 0,012 кг углеродда қанча молекулалар бўлса, шунча молекулалари бўлган модда миқдоридир.

Авогадро сони. Юқорида аниқланганидек, исталган модданинг 1 молида бир хил сондаги молекулалар мавжуддир. Бу сон **Авогадро доимийси** дейилади. Энди Авогадро доимийси нимага тенглигини аниқлайлик. Бунинг учун модда миқдори таърифидан фойдаланамиз, яъни 0,012 *кг* углеродда N_A та молекула бор:

$$N_A = \frac{0{,}012}{m_{oC}}\ \text{кг} \cdot \text{моль}^{-1},$$

бу ерда m_{oC} углерод молекуласининг массаси.

Бирлик атом массасининг таърифига асосан

$$m_{oC} = 12 \cdot m_0.$$

Шундай қилиб,

$$N_A = \frac{0{,}012\text{кг}}{12 m_0}\ \text{моль}^{-1} = \frac{0{,}012\text{кг}}{12 \cdot 1{,}66 \cdot 10^{-27}\ \text{кг}} \cdot \text{моль}^{-1} = 6{,}02 \cdot 10^{23}\ \text{моль}^{-1},$$

яъни исталган модданинг бир молида $N_A = 6{,}02 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$ та молекула мавжуд.

Авогадро қонуни. Исталган модданинг бир молидаги молекулалар сони тенг эканлигини кўрдик. Энди бир моль қанча ҳажмни эгаллайди деган савол туғилади. Бу саволга Авогадро (1776 – 1856) қонуни жавоб беради: Бир хил температура ва бир хил босимда исталган газнинг бир моли бир хил ҳажмни эгаллайди. Нормал шароитда бу ҳажм $V_0 = 22{,}41 \cdot 10^{-3}\ \frac{\text{м}^3}{\text{моль}}$ га тенг.

Нормал шароит. Нормал шароит: босим нормал атмосфера босими p =101325 Па = 760 мм. сим. уст. ва температура T = 273,15 К ёки t = 0 °С бўлган шароит.

Молекуляр масса. Кўпинча молекуляр масса (M) тушунчасидан фойдаланишга тўғри келади. Молекуляр масса бир моль модданинг массаси каби аниқланиб, молекула массасининг Авогадро сонига кўпайтмаси каби аниқланади.

$$M = m_{\text{моль}} \cdot N_A.$$

СИ да молекуляр массанинг бирлиги — кг/моль:

$$[M] = [m] \cdot [N_A] = 1\text{кг} \cdot \frac{1}{\text{моль}} = 1\ \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

Исталган миқдордаги модданинг массаси m ни топиш учун унинг молекуляр массаси M ва ундаги модда миқдори (моллар сони) ν ни кўпайтириш керак:

$$m = \nu \cdot M$$

Лошмидт сони. Нормал шароитда 1 м^3 газдаги молекулалар Лошмидт сони билан аниқланади. Маълумки, 1 моль газда N_A та молекула мавжуд ва 1 моль газ нормал шароитда V_0 ҳажмни эгаллайди. Унда нормал шароитда исталган газнинг 1 м^3 да

$$N_A = \frac{N_A}{V_0} = \frac{6{,}02 \cdot 10^{23}\,\text{моль}^{-1}}{22{,}4 \cdot 10^{-3}\,\text{моль}^{-1} \cdot \text{м}^3} = 2{,}7 \cdot 1025\text{м}^{-3}$$

га молекула мавжуд бўлади.

Синов саволлари

1. Молекуляр физика ва термодинамика нимани ўрганади. 2. Молекуляр физика нимани ва қандай тасаввурга асосан ўрганади? 3. Битта молекуланинг температурасини қандай ўлчаш мумкин? 4. Термодинамика нимани ўрганади? 5. Молекуляр-кинетик назариянинг асосида ётувчи қоидаларни биласизми? 6. Молекулаларнинг ўлчамлари нимага тенг? 7. Нима учун физикада молекула массасининг абсолют қиймати билан эмас, балки ўлчамсиз нисбий катталиги билан иш кўрилади? 8. Бирлик атом массаси сифатида қандай катталик қабул қилинган? 9. Молекуланинг нисбий массаси қандай топилади? 10. Нисбий атом массаси қандай топилади? 11. Модда миқдори тушунчасини киритишга нима зарурат бор? 12. Модда миқдори қандай аниқланади? 13. Авогадро доимийси нимага тенг ва у қандай физик маънога эга? 14. Авогадро қонуни. 15. Нормал шароит деб қандай шароитга айтилади? 16. Молекуляр масса қандай аниқланади? 17. Лошмидт сони.

37- §. Идеал газ ва унинг параметрлари

Мазмуни: идеал газ тушунчаси; газ параметрлари; газнинг босими; Дальтон қонуни; температура, температурани ўлчаш, температура шкаласи, абсолют ноль температура.

Идеал газ. Механикадаги каби молекуляр физикада ҳам ҳисоблашни осонлаштириш учун хизмат қиладиган идеаллаштирилган модель — идеал газ тушунчасидан фойдаланилади. Идеал газ деб қуйидаги шартларни бажарадиган газга айтилади:

1) газ молекулаларининг хусусий ҳажми газ эгаллаб турган идишнинг ҳажмига нисбатан эътиборга олмаса бўладиган даражада кичик;

2) газ молекулалари орасида ўзаро таъсир кучлари мавжуд эмас;

3) газ молекулаларининг ўзаро ва идиш деворлари билан урилиши абсолют эластикдир.

Шуни таъкидлаш керакки, реал газлар (кислород, гелий) ҳам нормал шароитга яқин шароитларда ва юқори температура, паст босимда ўз хоссалари билан идеал газларга жуда ўхшаб кетади. Бун-

дан ташқари, молекулаларнинг хусусий ҳажмлари ва ўзаро таъсирини ҳисобга олувчи тузатиш киритиш билан идеал газ қонунларидан реал газ қонунларини ҳосил қилиш мумкин.

Газ параметрлари. Газнинг ҳолати бир-бирига боғлиқ бўлган ва ҳолат параметрлари дейиладиган қуйидаги катталиклар билан характерланади, булар: ҳажм V, босим p ва температура T.

Газнинг ҳажми V у эгаллаб турган идишнинг ҳажми билан мос келади.

Ҳажмнинг СИ даги бирлиги м^3.

$$[V] = 1 м^3.$$

Газнинг босими. Сирт элементига нормал таъсир этаётган F кучнинг шу элемент юзаси S га нисбати билан аниқланадиган физик катталик *босим* дейилади.

$$p = \frac{F}{S}.$$

СИ да босим бирлиги — паскаль, $1 Па = 1 \frac{Н}{м^2}$.

Ҳозирча босимнинг системага кирмайдиган баъзи бирликларидан ҳам фойдаланилади. Булар:

физик атмосфера = $11{,}013 \cdot 10^5$ Па = 760 мм.сим.уст.

техник атмосфера = $9{,}81 \cdot 10^4$ Па.

Бетартиб ҳаракатда бўлган газ молекулалари идиш деворларига урилади ва жуда кичик вақт давомида деворга маълум куч билан таъсир кўрсатади. Молекулаларнинг бетартиб урилишлари натижасида бирлик юзага маълум бир босим кўрсатилади. Босимни ўлчайдиган асбоблар *манометрлар ва барометрлар* дейилади. Ўз вазифаларига қараб, манометрлар турли-туман бўлади.

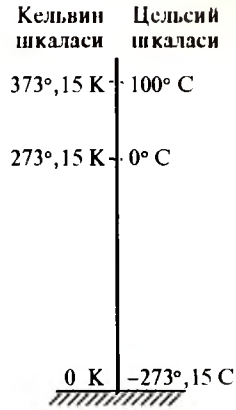
Дальтон қонуни. Идеал газ аралашмасининг босими аралашмага кирувчи газлар парциал босимларининг йигиндисига тенг бўлади, яъни

$$p = p_1 + p_2 + ... + p_n,$$

бу ерда $p_1, p_2, ..., p_n$ — парциал босимлар дейилиб, агар ҳар бир газнинг ўзи аралашма эгаллаган ҳажмни эгаллаганда идиш деворларига кўрсатиши мумкин бўлган босим билан аниқланади.

Температура. Жисмларнинг иссиқлик даражасини характерлаш учун температура тушунчасидан фойдаланилади. Агар қизитилган жисм (температураси юқори жисм) қизитилмаган жисмга (температураси паст жисмга) теккизилса, улар орасида иссиқлик алмашуви рўй беради. Энергия температураси юқорироқ жисмдан температураси пастроқ жисмга ўтади. Бу жараён жисмларнинг температуралари тенглашгунча, яъни иссиқлик мувозанати вужудга келгунча давом этади. Демак, иссиқлик мувозанатидаги жисмларнинг температуралари бир хил бўлади. Шунинг учун ҳам температура системанинг иссиқлик мувозанатини характерловчи катталик дейилади.

Температурани ўлчаш. Температурани ўлчаш учун эталон сифатида газ (водород) ёки суюқликларнинг (симоб, спирт) иссиқликда ҳажмининг ўзгаришидан фойдаланилади. Температура ўлчанадиган асбоб термометр дейилади. Биз кундалик ҳаётда термометр билан яхши танишмиз. Масалан, симобли термометр ёрдамида — 30° дан + 800° гача температурани ўлчаш мумкин. Температурани ўлчашда аниқлик киритиш мақсадида температура шкаласи киритилади.



50-расм.

Температура шкаласи. 1960 йилда бўлиб ўтган ўлчовлар ва тарозилар бўйича XI бош конференциянинг қарорига мувофиқ температуранинг иккита шкаласидан фойдаланилади. Термодинамик температура шкаласида (T) температура кельвинларда (K) ва халқаро амалий температура шкаласида (t) температура цельсий градусларида (°C) ўлчанади. Термодинамик температура ва халқаро амалий температура шкалалари қуйидаги муносабат ёрдамида боғланган:

$$T = 273,15 + t.$$

Термодинамик ва халқаро амалий температура шкалаларида ҳароратнинг масштаб бирликларига тенг, яъни термодинамик шкаладаги 1 K температуралар фарқи, халқаро амалий шкаладаги 1 °C температуралар фарқига мос келади: бирлиги = 1 K бирлигига.

Абсолют ноль температура. Халқаро амалий шкалада температурани аниқлашнинг таянч нуқталари сифатида, нормал атмосфера босимида сувнинг музлаш ва қайнаш температуралари олинган. Сўнгра бу оралиқ тенг юзга бўлиниб, температура шкаласи ҳосил қилинган. Бундай шкалани биринчи бўлиб швециялик олим Цельсий (1742 йилда) таклиф қилганлиги учун уни *Цельсий шкаласи* ҳам дейилади. Температуранинг термодинамик шкаласи эса инглиз олими Кельвин томонидан таклиф қилинган. Бу шкаланинг бошланиш нуқтаси сифатида ноль градус Кельвин $0K = -273,15$ °C қабул қилинган (50-расм). Бу температурада идеал газнинг босими нолга тенг бўлади, яъни молекулалари ҳаракатдан тўхтайди. $0K$ дан пастки температура бўлиши мумкин эмас ва шу билан бирга бу температурага етишиб ҳам бўлмайди. $0K$ абсолют ноль температура дейилади.

Синов саволлари

1. Қандай газ идеал газ дейилади? 2. Идеал газ қонунларидан реал газ қонунларини ҳосил қилиш мумкинми? 3. Газнинг қандай параметрларини биласиз? 4. Газнинг босими ва унинг бирлиги. 5. Босимнинг Халқаро

бирликлар системага кирмайдиган қандай бирликларини биласиз? 6. Босимни ўлчайдиган асбоблар. 7. Дальтон қонуни. 8. Температура тушунчаси нима мақсадда киритилган ва у нимани характерлайди? 9. Температура қандай ўлчанади? 10. Температуранинг қандай шкалаларини биласиз ва уларнинг бир-биридан фарқи қанча? 11. Термодинамик ва халқаро амалий шкалаларда температуранинг масштаб бирлиги тенгми? 12. Халқаро амалий шкаланинг таянч нуқталари қандай танланган ва у ким томонидан киритилган. 13.Термодинамик шкаланинг таянч нуқталари қандай танланган ва у ким томонидан киритилган? 14. Абсолют ноль температура деб қандай температурага айтилади? 15. Абсолют ноль температурага эришиш мумкинми? Ундан паст температурага-чи?

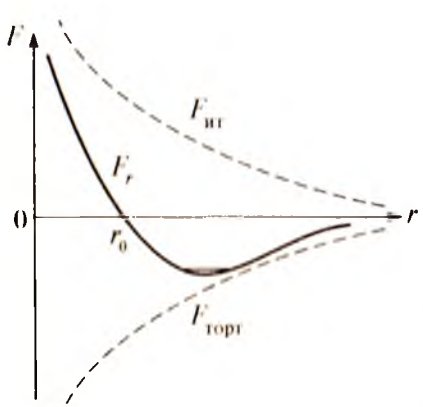
38- §. Молекулалараро ўзаро таъсир кучлари ва энергияси

М а з м у н и: молекулалараро ўзаро таъсир кучлари; молекулалараро ўзаро таъсир кучларининг улар орасидаги масофага боғлиқлиги; молекулалараро ўзаро таъсир энергиясининг улар орасидаги масофага боғлиқлиги; модданинг агрегат ҳолатлари.

Молекулалараро ўзаро таъсир кучлари. Бизга маълумки, қаттиқ жисм ва суюқликларнинг молекулалари бир-бирларига катта куч билан тортилиб туришади. Акс ҳолда улар ҳар томонга учиб кетган бўлишарди. Худди шунингдек, уларни сиқишнинг мумкин эмаслиги молекулалараро итариш кучларининг мавжудлигини кўрсатади.

Молекулалараро ўзаро таъсир кучлари табиатига кўра электромагнит характерига эга ва шу билан бирга электронейтрал молекулалар орасида вужудга келади.

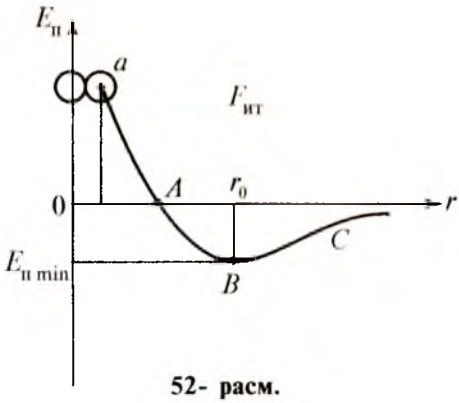
Молекулалараро ўзаро таъсир кучларининг улар орасидаги масофага боғлиқлиги. 51-расмда иккита молекула ўзаро таъсир кучининг улар орасидаги масофага боғлиқлиги кўрсатилган. Бир молекуланинг электронлари ва бошқа молекуладаги атомнинг ядроси ўртасида тортишиш кучлари $F_{торт}$ вужудга келади. Бу кучни шартли равишда манфий деб қабул қилишга келишилган. Шунингдек, молекуланинг электронлари ва атомларининг ядролари ўртасида итаришиш кучлари $F_{ит}$ мавжуд ва бу куч шартли равишда мусбат деб қабул қилинган. Бу кучларнинг тенг таъсир этувчиси узлуксиз F_r билан кўрсатилган.



51-расм.

Графикдан кўриниб турибдики, $r = r_0$ да $F_r = 0$, яъни тортишиш ва итариш кучлари бир-бирларини йўқотади ва бу масофа мо-

лекулаларнинг энг турғун ҳолати ҳисобланади. $r > r_0$ да тортишиш кучи катта, $r < r_0$ да итариш кучи катта бўлади. Бошқача айтганда, жисм сиқилиб молекулалар орасидаги масофа $r < r_0$ бўлса, $F_{ит}$ кучи уларнинг яқинлашишига, $r > r_0$ бўлса, $F_{торт}$ кучи уларнинг узоқлашишига тўсқинлик қилади ва $r = r_0$ масофага қайтаради.



52- расм.

Молекулалараро ўзаро таъсир энергиясининг улар орасидаги масофага боғлиқлиги. Молекулалар ўзаро таъсирлашади ва, демак, ўзаро таъсир потенциал энергияси $E_п$ га эга бўлади. 52-расмда молекулалараро ўзаро таъсир потенциал энергиясининг улар орасидаги масофага боғлиқлиги потенциал чизиги кўрсатилган.

Молекулаларнинг итаришиш потенциал энергиялари мусбат, тортишиш потенциал энергиялари манфий ҳисобланади. Бир-биридан чексиз узоқликдаги молекулаларнинг таъсир потенциал энергиялари нолга тенг, яъни улар таъсирлашишмайди. Улар бир-бирларига яқинлаштирилиб борган сари ўзаро таъсир потенциал энергиялари камая боради, яъни нолдан кичик манфий қийматларни қабул қила боради ва $r = r_0$ да ($F = 0$) ўзининг энг кичик $E_{п\,min}$ қийматига, молекулаларнинг турғун мувозанат ҳолатига етади. Молекулаларнинг бундан кейинги яқинлашиши ташқи кучларнинг итаришиш кучларига қарши бажарадиган ишлари ҳисобига амалга оширилиб, молекулалар потенциал энергиясининг кескин ортишига олиб келади. Потенциал чизиғидаги *ABC* қисм *потенциал ўра* дейилади; $E_{п\,min}$ — потенциал ўранинг чуқурлигидир.

Шу билан бирга, молекулалар доимо ҳаракатда бўлгани сабабли маълум кинетик энергияга ҳам эга бўлади. Айнан молекулалараро ўзаро таъсир потенциал энергиясининг минимал қиймати $E_{п\,min}$ ва молекулалар бетартиб ҳаракати кинетик энергиясининг ўртача қиймати $\langle E_к \rangle$ орасидаги муносабат моддаларнинг агрегат ҳолатларини аниқлайди:

1) $\langle E_к \rangle >>> E_{п\,min}$ да модда газ ҳолатида;

2) $\langle E_к \rangle << E_{п\,min}$ да модда қаттиқ ҳолатда;

3) $\langle E_к \rangle \approx E_{п\,min}$ да модда суюқ ҳолатда бўлади.

Модданинг газ ҳолати. $\langle E_к \rangle >>> E_{п\,min}$ да модда газ ҳолатида бўлиб, молекулалари жуда катта тезликлар билан ҳаракат қилади ва бир-биридан ўз ўлчамларига нисбатан анча катта масофаларда бўлади. Молекулалар орасида ўзаро тортишиш кучи қарийб нолга тенг.

Шунинг учун ҳам улар эркин ҳаракат қилади ва ўзларига ажратилган ҳажмни тўла эгаллайди, исталганча сиқилади. Газнинг босими молекулаларнинг идиш деворига урилишининг натижасидир. Бу урилишларда деворларга импульс берилади ва натижада газнинг босими вужудга келади.

Модданинг суюқ ҳолати. Бу агрегат ҳолатдаги моддалар молекулалари бир-бирлари билан анча мустаҳкам боғланган. Улар, асосан маълум мувозанат ҳолат атрофида тебранма ҳаракат қилади. Молекулалар орасидаги итариш кучи жуда ҳам катта, шунинг учун ҳам суюқликларни қарийб сиқиш мумкин эмас. Аммо суюқлик қизитилганда молекулаларнинг кинетик энергиялари ортиб, тортишиш кучларини узиб чиқиб кетишлари (буғланиши) мумкин. Суюқликнинг асосий хоссаси — оқувчанлигидир, бунга сабаб суюқлик молекулаларининг жуда яхши ўрин алмашиш қобилиятига эга бўлганлигидир. Шунинг учун ҳам суюқлик яхши оқади ва ўзи қуйилган исталган идишнинг шаклини эгаллайди.

Модданинг қаттиқ ҳолати. Модданинг бу агрегат ҳолати, олдинги ҳолатлардан фарқли ўлароқ, доимий шаклга ва ҳажмга эга. Молекулалар кристалл панжараларнинг учларида жойлашиб, бир-бирлари билан қаттиқ боғланган. Тортишиш кучлари шу қадар каттаки, молекула ўз қўшнисидан сезиларли узоққа кетолмай, фақат ўз мувозанат вазияти атрофида тебранма ҳаракатгина қила олиши мумкин. Молекулаларнинг қандай кристалл панжараларда жойлашувига қараб, қаттиқ жисмнинг шакли ва хоссалари ҳам турлича бўлиши мумкин. Табиатда кристалл қаттиқ жисмлар билан бирга аморф қаттиқ жисмлар ҳам учрайди. Қаттиқ жисмнинг аморф ҳолати нотурғун ҳолат ҳисобланиб, молекулалари бетартиб жойлашган бўлади.

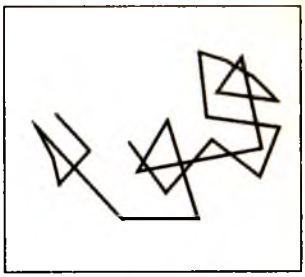
Модданинг плазма ҳолати. Баъзан модданинг тўртинчи агрегат ҳолати деб, плазма ҳолати ҳақида гапиришади. Плазма ҳолати газнинг тўла ионлашган ҳолатидир. Газ жуда юқори температураларгача қиздирилганда молекулалари тўлалигига мусбат ва манфий ионларга ажралади. Бундай шароит Қуёшда ва бошқа юлдузларда мавжуд.

Энди моддаларнинг кўплаб миқдордаги бетартиб ҳаракатда бўлган молекулалардан ташкил топганлигини исботловчи баъзи ҳодисалар билан танишайлик.

Броун ҳаракати. Инглиз ботаниги Р. Броун 1827 йилда микроскоп ёрдамида суюқлик сиртидаги қаттиқ жисм заррасининг узлуксиз бетартиб ҳаракатини кузатди. Газда муаллақ турган қаттиқ жисм заррасининг ҳаракатини микроскоп орқали кузатганда ҳам шундай манзарани кўриш мумкин (53-расм). Суюқликда (ёки газда) муаллақ турган зарранинг иссиқлик ҳаракати броун ҳаракати дейилади. Зарранинг ўлчамлари қанчалик кичик ва температура қанча юқори бўлса, зарра шунчалик тез ҳаракатланади. Броун ҳаракатини вужудга келтирувчи сабаб суюқлик ёки газ молекулаларининг узлуксиз

бетартиб ҳаракатидир. Молекулалар заррага ҳар томондан бетартиб равишда урилиб, уни ҳаракатга келтиради.

Агар зарранинг ўлчамлари катта ва унинг ҳар томондан оладиган зарблари жуда кўп булса, унда зарранинг зарблар натижасида оладиган натижавий импульси нолга тенг ёки шунга яқин бўлади ва натижада зарра ўз ўрнидан қўзгалмайди.



53- расм.

Агар зарранинг ўлчамлари жуда кичик бўлса, унинг ҳар томондан олган импульсларининг йиғиндиси зарблар сони тенг бўлмаганлиги сабабли нолга тенг бўла олмайди. Бирор томондан урилаётган молекулаларнинг импульси бошқа томондан урилаётган молекулалар импульсига нисбатан катта бўлсин. Бунда зарра ҳаракатга келади. Маълум вақт ўтгандан кейин янги зарблар натижасида зарранинг ҳаракат йўналиши ўзгариши мумкин. Агар зарранинг ҳаракати кузатилса, 53-расмда кўрсатилгандек манзара вужудга келади.

Диффузия. Бир модда молекулаларининг ўз-ўзидан иккинчи модда ичига кириб кетиш ҳодисаси *диффузия* дейилади. Агар ҳиди чиқувчи эфир, керосин, нафталин, атирга ўхшаш моддалар хонага киритилса, маълум вақтдан кейин уларнинг ҳиди бутун хонани эгаллаб олади. Бу эса бир модданинг молекулалари ташқи кучлар таъсирисиз ҳам бошқа моддага сингиб кетишини кўрсатади. Тажрибаларнинг кўрсатишича, диффузия жараёнининг рўй бериш тезлиги диффузияга кирувчи моддаларга ва температурага боғлиқ бўлади. Суюқликлардаги диффузия газлардагига нисбатан секинроқ, лекин қаттиқ жисмларникига нисбатан тезроқ рўй беради. Чунки жисм қанчалик зич бўлса, унинг молекулалари бир-бирига шунчалик яқин ва улар орасидан бошқа жисм молекулаларининг сингиб кириши шунчалик қийин бўлади.

Синов саволлари

1. Қаттиқ жисм ва суюқликларнинг молекулалари нега ҳар томонга учиб кетмайди? 2. Молекулалараро итариш кучлари мавжудлигини қандай аниқлаш мумкин? 3. Тортишиш кучлари қандай вужудга келади ва уларнинг масофага боғлиқлиги қандай? 4. Итариш кучлари қандай вужудга келади ва уларнинг масофага боғлиқлиги қандай? 5. Молекулалараро ўзаро таъсир потенциал энергиясининг улар орасидаги масофага боғлиқлиги? 6. Қандай потенциал энергия мусбат ва қандай потенциал энергия манфий ҳисобланади? 7. Қачон потенциал энергия ўзининг энг кичик қийматига эга бўлади? 8. Қандай ҳолат молекулаларнинг тургун мувозанат ҳолати дейилади? 9. Потенциал ўра қандай аниқланади? 10. Модда қачон газ ҳолатида бўлади? 11. Модда газ ҳолатининг алоҳида хусусиятларини айтинг. 12. Модда қачон қаттиқ ҳолатда бўлади? 13. Модда қаттиқ

ҳолатининг алоҳида хусусиятларини айтинг? 14. Модда қачон суюқ ҳолатда бўлади? 15. Модда суюқ ҳолатининг алоҳида хусусиятларини айтинг. 16. Моддaнинг плазма ҳолати. 17. Броун ҳаракати нимани кўрсатади? 18. Броун ҳаракатининг вужудга келишига сабаб нима? 19. Диффузия деб нимага айтилади? 20. Диффузия температурага боғлиқми?

39- §. Идеал газнинг тажрибавий қонунлари. Клапейрон — Менделеев тенгламаси

Мазмуни: изожараёнлар ҳақида тушунча; Бойль — Мариотт қонуни; Гей-Люссак қонуни; Шарль қонуни; ҳолат тенгламаси; Клапейрон тенгламаси; Клапейрон — Менделеев тенгламаси; моляр газ доимийсининг қиймати. Исталган миқдордаги газ учун Клапейрон — Менделеев тенгламаси; Больцман доимийси.

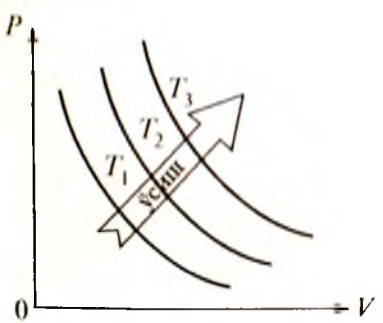
Изожараёнлар. Юқорида идеал газ учта параметр: температура T, ҳажм V ва босим P билан тавсифланиши ҳақида айтилган эди. Бу параметрлардан бирортасининг ўзгариши ҳеч бўлмаганда иккинчисининг ҳам ўзгаришига олиб келади. Системадаги жараёнларни соддалаштириб ўрганиш мақсадида параметрларнинг бирортаси ўзгармай қолиб(изожараёнлар) қолган иккита ўзгарадигани орасидаги боғланишларни кўрайлик. Бу қонунлар молекуляр-кинетик назария яратилганга қадар тажрибалар ёрдамида аниқланган. Шунинг учун ҳам улар *идеал газнинг тажрибавий қонунлари* дейилади.

Бойль — Мариотт қонуни. Берилган газ массаси учун ўзгармас температурада газ босимининг газ ҳажмига кўпайтмаси ўзгармас катталикдир, яъни $m = \text{const}$, $T = \text{const}$ да

$$p \cdot V = \text{const}. \qquad (39.1)$$

Температура ўзгармасдан рўй берадиган жараёнлар изотермик жараёнлар дейилади. p ва V ораларидаги боғланишларни ифодалайдиган эгри чизиқлар эса *изотермалар* дейилади.

54-расмда изотермалар оиласи кўрсатилган. Улар гиперболалардан иборат бўлиб, ҳарорат кўтарилиши билан гипербола ҳам кўтарила боради.

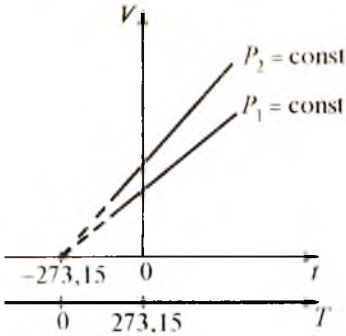


54- расм.

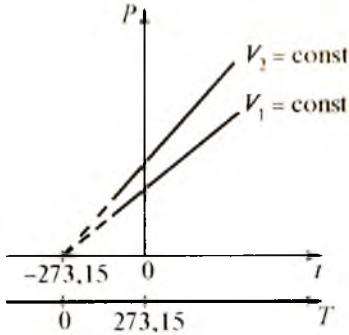
Гей-Люссак қонуни. Босим ўзгармас бўлганда, берилган газ массасининг ҳажми температура ўзгариши билан чизиқли ўзгаради, яъни $m = \text{const}$, $p = \text{const}$ да

$$V = V_0(1 + \alpha t), \qquad (39.2)$$

бу ерда t — Цельсий шкаласи бўйича температура, V_0 — 0°С да газ ҳажми, $\alpha = \frac{1}{273{,}15}\,\text{K}^{-1}$ коэффициент. Босим ўзгармасдан рўй берадиган жараёнлар



55- расм.



56- расм.

изобарик жараёнлар, V ва t орасидаги боғланишларни ифодалайдиган чизиқлар эса *изобаралар* дейилади(55-расм).

Агар температуранинг термодинамик ва амалий шкалалари орасидаги T=t+273,15 муносабатни

$$t = T - 273{,}15 = T - \frac{1}{\alpha} \tag{39.3}$$

кўринишида ёзсак ва уни (39.2) га қўйсак,

$$V = V_0\left[1 + \alpha\left(T - \frac{1}{\alpha}\right)\right] = V_0\alpha T \tag{39.4}$$

ифодани ҳосил қиламиз. Бу ифодадан кўриниб турибдики, $T = 0$ да $V = 0$, яъни газ гўёки ҳажмга эга бўлмайди. Бу эса Гей-Люссак қонунининг жуда паст температураларда бажарилмаслигини кўрсатади. Шунинг учун ҳам изобаралар паст температураларда узлукли чизиқлар билан кўрсатилган.

Гей-Люссак қонунини

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \tag{39.5}$$

кўринишда ҳам ёзиш мумкин.

Шарль қонуни. Ҳажм ўзгармас бўлганда, берилган газ массасининг босими температура ўзгариши билан чизиқли ўзгаради, яъни m = const, V = const да

$$p = p_0(1 + 1\,\alpha t), \tag{39.6}$$

бу ерда p_0 — 0° С даги газ босими.

Ҳажм ўзгармасдан рўй берадиган жараёнлар изохорик жараёнлар, p ва t орасидаги боғланишларни ифодалайдиган чизиқлар эса *изохоралар* дейилади (56-расм). Энди (39.3) ифода ёрдамида (39.6) ни ўзгартириб,

$$p = p_0\left[1 + \alpha\left(T - \frac{1}{\alpha}\right)\right] = p_0\alpha T \tag{39.7}$$

ифодани ҳосил қиламиз.

$T = 0$ да $p = 0$ бўлади, яъни газнинг босими нолга тенг бўлади. Демак, абсолют ноль температурада газ молекулалари ҳаракатдан тўхтайди.

Шарль қонунини қуйидаги кўринишда ҳам ёзиш мумкин.

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2} \tag{39.8}$$

Ҳолат тенгламаси. Биз юқорида газ параметрларидан биттаси ўзгармай, қолган иккитаси орасидаги боғланишларни кўрдик. Энди уларнинг ҳар учаласи ҳам ўзгарадиган ҳол билан танишайлик. Умумий ҳолда бундай тенглама

$$f(p,\ V,\ T) = 0$$

кўринишга эга бўлади ва у *ҳолат тенгламаси* дейилади.

Клапейрон тенгламаси. Француз физиги Б. Клапейрон (1799—1864). Бойль — Мариот ва Гей-Люссак қонунларини бирлаштириб, идеал газнинг ҳолат тенгламасини топди. Бу тенгламага мувофиқ берилган газ массаси учун газ босими ва ҳажми кўпайтмасининг температурага нисбати ўзгармас катталиқдир:

$$\frac{p \cdot V}{T} = B = \text{const}. \tag{39.9}$$

(39.9) тенглама *Клапейрон тенгламаси* дейилади. В — турли газлар учун турлича бўлган газ доимийси.

Клапейрон — Менделеев тенгламаси. Рус олими Д.И. Менделеев (1834 — 1907) Клапейрон тенгламасини моляр ҳажм $V_м$ дан фойдаланиб, 1 моль газ учун ёзди. Авогадро қонунига мувофиқ бир хил босим ва температурада ҳар қандай газнинг бир моли бир хил $V_м$ ҳажмни эгаллайди. Демак, p, T бир хил бўлганда исталган газ учун $V_м$ бир хил бўлса, унда $\frac{p \cdot V_м}{T}$ нисбат ҳам исталган газ учун бир хил бўлиши керак. Бу нисбатни

$$\frac{p \cdot V_м}{T} = R \tag{39.10}$$

деб белгилайлик. R *моляр газ доимийси* дейилади.

$$pV_м = RT \tag{39.11}$$

Бу тенглама эса *Клапейрон — Менделеев тенгламаси* дейилади.

Моляр газ доимийсининг қиймати. Моляр газ доимийсининг қийматини топиш учун (39.10) ифодадан фойдаланамиз ва газ нормал шароитда турибди деб ҳисоблаймиз. Демак,

$$p_0 = 1{,}013 \cdot 10^5\ \text{Па};\ T_0 = 273{,}15\ K;\ V_м = 22{,}41 \cdot 10 - 3\ \frac{м^3}{моль};$$

$$R = \frac{1{,}013 \cdot 10^5\,\text{Па} \cdot 22{,}41 \cdot 10^{-3}\,\frac{\text{м}^3}{\text{моль}}}{273{,}15\text{K}} = 8{,}31\,\frac{\text{Ж}}{\text{моль} \cdot \text{K}}.$$

Исталган миқдордаги газ учун Клапейрон — Менделеев тенгламаси. (39.11) тенглама 1 моль газ учун ёзилган.Уни исталган ν моль газга мослаштириш учун $V_м$ нинг ўрнига $V = \nu V_м$ ни қўйишимиз керак. Ундан

$$V_м = \frac{V}{\nu} \qquad (39.12)$$

ни топиб, (39.11) га қўямиз ва

$$p \cdot V = \nu RT = \frac{m}{M} RT \qquad (39.13)$$

ни ҳосил қиламиз. Бу ерда модда миқдори $\nu = \frac{m}{M}$ лиги эътиборга олинган.

(39.13) исталган *m массали газ учун Клапейрон — Менделеев* тенгламаси дейилади.

Больцман доимийси. Баъзан идеал газ ҳолат тенгламасининг бошқачароқ кўринишидан фойдаланилади. Бунинг учун *Больцман доимийси* дейилгувчи катталик киритилади.

$$k = \frac{R}{N_A} = 1{,}38 \cdot 10^{-23}\,\frac{\text{Ж}}{\text{K}}$$

Бунга асосан (39.11) ни қайта ёзамиз:

$$p = \frac{R \cdot T}{V_m} = \frac{k \cdot NA \cdot T}{V_m} = knT,$$

бу ерда $n = \frac{N_A}{V_м}$ — молекулаларнинг концентрацияси, яъни бирлик ҳажмдаги молекулалар сони.

$$p = nkT. \qquad (39.14)$$

Ифодадан кўриниб турибдики, берилган температурада газнинг босими молекулалар концентрациясига тўғри пропорционал бўлади.

Синов саволлари

1. Изожараёнлар деб қандай жараёнларга айтилади? 2. Бойль — Мариотт қонуни. 3. Изотермик жараён деб қандай жараёнга айтилади? 4. Изотермалар деб қандай чизиқларга айтилади. 5. Бойль — Мариотт қонунининг бажарилишига мисол келтиринг. 6. Гей-Люссак қонуни ва унинг кўринишлари. 7. Изобарик жараён деб қандай жараёнга айтилади? 8. Изобаралар деб қандай чизиқларга айтилади? 9. Абсолют ноль температурада газнинг

ҳажми нимага тенг бўлади ва уни қандай тушунтирасиз? 10. Шарль қонуни ва унинг кўринишлари. 11. Изохорик жараён деб қандай жараёнга айтилади? 12. Изохоралар деб қандай чизиқларга айтилади? 13. Абсолют ноль температурада газнинг босими нимага тенг бўлади ва уни қандай тушунтирасиз? 14. Ҳолат тенгламаси деб қандай тенгламага айтилади? 15. Клапейрон тенгламаси. 16. Бир моль газ учун Клапейрон — Менделеев тенгламаси. 17. Моляр газ доимийси. 18. Исталган миқдордаги газ учун Клапейрон — Менделеев тенгламаси. 19. Больцман доимийси. 20. Газнинг босими молекулаларнинг концентрациясига боғлиқми?

40- §. Идеал газ молекуляр-кинетик назариясининг асосий тенгламаси

Мазмуни: молекуланинг идиш деворига берадиган импульси; молекуляр-кинетик назариянинг асосий тенгламаси; молекула ўртача квадратик тезлигининг температурага боғлиқлиги; молекула кинетик энергиясининг температурага боғлиқлиги.

Молекуланинг идиш деворига берадиган импульси. Тажриба учун бир атомли идеал газнинг бетартиб ҳаракатини кузатамиз. Молекулалар бир-бирлари билан қарийб тўқнашмайди, идиш деворлари билан тўқнашишларини эса абсолют эластик деб ҳисоблаймиз. Идиш деворидан бирор ΔS элементар юзани ажратиб оламиз (57-расм) ва унга кўрсатиладиган босимни ҳисоблаймиз. Босимнинг таърифига кўра

$$p = \frac{F}{\Delta S} \tag{40.1}$$

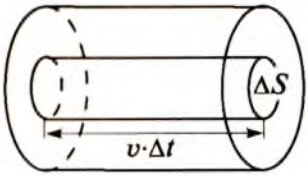
юзага таъсир этаётган кучни топиш учун сирт олаётган куч импульсини ҳисоблаймиз.

Ҳар бир урилишда юзага перпендикуляр йўналган молекула ўз импульсини қуйидагича ўзгартиради:

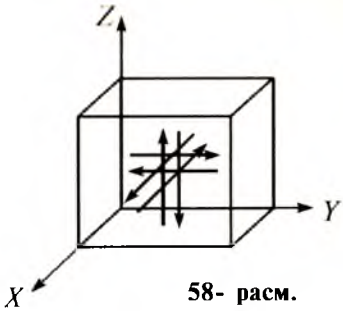
$$m_0 v - (-m_0 v) = 2m_0 v, \tag{40.2}$$

бу ерда m_0 — молекуланинг массаси, v — тезлиги.

Молекуляр-кинетик назариянинг асосий тенгламаси. Абсолют эластик урилган молекула тезлигининг модули ўзгармайди, йўналиши эса тескарисига ўзгаради. Шунинг учун ҳам молекула импульсининг ўзгариши $2m_0 v$ га ва натижада ΔS юза олган импульс ҳам шунга тенг бўлади. Δt вақтда юзагача $v \cdot \Delta t$ масофадаги (58-расмда цилиндр билан ажратилган соҳадаги) молекулаларгина етиб кела олиши мумкин. Ажратилган цилиндрдаги молекулалар сони $n \cdot \Delta S \cdot v \cdot \Delta t$ га тенг бўлади. Бу ерда n — молекулаларнинг концентрацияси. Энди бу молекулаларнинг қанчаси ΔS га келиб урилишини аниқлайлик. Бунинг учун молекулаларнинг ҳаракат қилиши мумкин бўлган йўналишларини кўрайлик. Фазонинг изотроплиги, яъни унинг барча йўналишларининг тенг кучлилиги натижасида ҳажмда-



57- расм.



58- расм.

ги молекулалар ҳамма йўналишда тенг миқдорда, яъни $\frac{1}{3}$ қисми z, $\frac{1}{3}$ қисми y ва $\frac{1}{3}$ қисми x ўқи бўйлаб ҳаракатланади.

Шу билан бирга, бу молекулаларнинг ярми ўқлар бўйлаб бир томонга, ярми эса тескари томонга ҳаракатланади (58-расм). Шундай қилиб, 57-расмда ажратилган цилиндр ичидаги молекулаларнинг $\frac{1}{2}\cdot\frac{1}{3}\cdot n\cdot\Delta S\cdot v\cdot\Delta t$ қисмигина ΔS элементар юзага етиб бориб урилади ва $2m_0v$ импульс беради. Натижада ΔS элементар юза олган куч импульси

$$\Delta p = F\cdot\Delta t = \frac{1}{6}\cdot n\cdot\Delta S\cdot v\cdot\Delta t\cdot 2m_0v = \frac{1}{3}nm_0v^2\Delta S\cdot\Delta t \qquad (40.3)$$

га тенг бўлади. Бу ердан молекулаларнинг урилишлари натижасида ΔS элементар юза олган кучни топсак ва (40.1) га қўйсак, қуйидагини оламиз:

$$p = \frac{\frac{1}{3}nm_0v^2\cdot\Delta S}{\Delta S} = \frac{1}{3}nm_0v^2. \qquad (40.4)$$

Агар ажратилган ҳажмдаги молекулаларнинг сони N та ва тезликлари $v_1, v_2, ..., v_N$ бўлса, унда (40.4) га молекулаларнинг ўртача квадратик тезликларини қўйиш мақсадга мувофиқ бўлади.

$$p = \frac{1}{3}nm_0 < v_{кв} >^2 \qquad (40.5)$$

(40.5) ифода *идеал газ молекуляр-кинетик назариясининг асосий тенгламаси* дейилади.

Молекула ўртача квадратик тезлигининг ҳароратга боғлиқлиги.

Молекулаларнинг концентрацияси $n = \frac{N}{V}$ лигидан (40.5) ни қайта ёзамиз:

$$p = \frac{1}{3}\frac{N}{V}m_0 < v_{кв} >^2$$

ёки

$$pV = \frac{1}{3} N \cdot m_0 < \upsilon_{кв} >^2 = \frac{1}{3} m < \upsilon_{кв} >^2 = \frac{2}{3} E, \qquad (40.6)$$

бунда $m = N \cdot m_0$ — барча молекулаларнинг массаси.

Агар биз фақат бир моль газ билан иш кўрганимизда эди, $V = V_m$, $m = M$ деб олардик, яъни

$$p \cdot V_m = \frac{1}{3} M < \upsilon_{кв} >^2 \qquad (40.7)$$

Клапейрон — Менделеев тенгламасидан $pV_m = RT$. Демак,

$$RT = \frac{1}{3} M < \upsilon_{кв} >^2$$

ёки

$$< \upsilon_{кв} > = \sqrt{\frac{3RT}{M}} = \sqrt{\frac{3RT}{m_0 \cdot N_A}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}. \qquad (40.8)$$

(40.8) ифода молекулалар тезлигининг температурага боғлиқ эканлигини кўрсатади. Масалан, хона температурасида кислород молекуласининг тезлиги 480 м/с, водородники эса 1900 м/с.

Молекула кинетик энергиясининг температурага боғлиқлиги. Идеал газ молекуласи илгариланма ҳаракат кинетик энергиясининг ўртача қиймати

$$< \varepsilon_0 > = \frac{m_0 < \upsilon_{кв} >^2}{2} \qquad (40.9)$$

ифода ёрдамида аниқланади. Агар молекула ўртача квадратик тезлигининг (40.8) даги ифодасидан фойдаланса к,

$$< \varepsilon_0 > = \frac{m_0}{2} \cdot \frac{3kT}{m_0} = \frac{3}{2} kT$$

$$< \varepsilon_0 > = \frac{3}{2} kT \qquad (40.10)$$

ни оламиз. Бу формуладан кўриниб турибдики, $T = 0$ да $<\varepsilon_0> = 0$, яъни 0 K да молекулаларнинг илгариланма ҳаракатлари тўхтайди ва, демак, босим ҳам нолга тенг бўлади. Шундай қилиб, термодинамик температура идеал газ молекулалари илгариланма ҳаракат ўртача кинетик энергиясининг ўлчовидир. Газнинг температураси қанча юқори бўлса, молекулаларнинг тезлиги ва, демак, кинетик энергияси ҳам шунча катта бўлади.

Синов саволлари

1. Молекуланинг идиш деворига берадиган импульси нимага тенг? 2. Газ молекуляр-кинетик назариясининг асосий тенгламаси. 3. Молекула ўртача квадратик тезлигининг температурага боғлиқлиги. 4. Молекула ўрта-

ча кинетик энергиясининг температурага боғлиқлиги. 5. Абсолют ноль температурада молекула ўртача кинетик энергиясининг қиймати нимага тенг бўлади? 6. Идеал газнинг температураси ниманинг ўлчови?

Масалалар ечиш намуналари

1 - масала. $m = 0{,}2$ кг массали азотнинг модда миқдори ν ва молекулалари сони N аниқлансин.

Берилган:

m=0,2кг
N_2
———————
$\nu = ?$
$N = ?$

Ечиш. Азотнинг модда миқдорини

$$\nu = \frac{m}{M}$$

ифодадан аниқлаймиз. Азот учун
$M = 28 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.
Моддадаги молекулалар сонини эса

$$N = \nu \cdot N_A$$

ифодадан топиш мумкин. Бу ерда $N_A = 6{,}02 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$ — Авогадро сони. Массанинг қийматидан фойдаланиб ҳисоблаймиз:

$$\nu = \frac{0{,}2}{28 \cdot 10^{-3}} \text{ моль} = 7{,}14 \text{ моль};$$

$$N = 7{,}14 \cdot 6{,}02 \cdot 10^{23} \text{ дона.}$$

Жавоб: $\nu = 7{,}14$ моль ; $N = 4{,}30 \cdot 10^{24}$ дона.

2 - масала. Баллонда , $p = 2$ мПа босим остида $T = 400$ K температурада турган азотнинг зичлиги ρ ҳисоблансин.

Берилган:

$p = 2$ мПа $= 2 \cdot 10^{-3}$ Па
$T = 400$ K
———————————
$\rho = ?$

Ечиш. Идеал газнинг ҳолат тенгламасини ёзамиз

$$pV = \frac{m}{M} RT.$$

Бу ифодада баъзи ўзгартиришлар киритиб оламиз:

$$\frac{m}{V} = \frac{p \cdot M}{R \cdot T}.$$

Агар зичлик эканлигини эътиборга олсак,

$$\rho = \frac{p \cdot M}{RT}.$$

Бу ерда $R = 8{,}31 \dfrac{\text{Ж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$ – газ моляр доимийси,

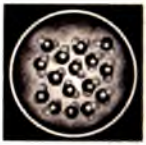
$M = 28 \cdot 10^{-3} \dfrac{\text{кг}}{\text{моль}}$ – азотнинг моляр массаси эканлигини эътиборга олиб, берилганлар ёрдамида топамиз:

$$\rho = \frac{2 \cdot 10^{-3} \cdot 28 \cdot 10^{-3}}{8{,}31 \cdot 400} \frac{кг}{м^3} = 1{,}68 \cdot 10^{-8} \frac{кг}{м^3}.$$

Жавоб. $\rho = 1{,}68 \cdot 10^{-8}$ кг/м³.

Мустақил ечиш учун масалалар

1. Кислород нормал шароитда, сиғими 11,2 л бўлган идишни тўлдириб турибди. Газнинг модда миқдори υ ва унинг массаси m аниқлансин. ($\upsilon = 0{,}5$моль; $m = 16$г.)
2. Битта ош тузи молекуласининг моляр массаси M ва массаси m_0 топилсин. (М=58,5 · 10^{-3} кг/моль; $m_0 = 9{,}72 \cdot 10^{-26}$ кг.)
3. Баллонда 100 °С температурали газ бор. Газнинг босими икки марта ортиши учун уни қандай t_2 температурагача қиздириш керак? ($t_2 = 473$ °С.)
4. 240 см³ сиғимли колбада $T = 290$ K температура ва $p = 50$ кПа босим остида сақланаётган газнинг модда миқдори υ ва молекулаларининг концентрацияси n аниқлансин. ($\upsilon = 4{,}98$ м. моль; $n = 1{,}25 \cdot 10^{25}$ м$^{-3}$.)
5. Қандай температурада гелий атомининг ўртача квадратик тезлиги иккинчи космик тезликка тенг бўлади? (Т=20,1кК.)
6. Температураси 300 К бўлган кислород молекуласининг ўртача кинетик энергияси <ε> аниқлансин. $[< E >= 1{,}24 \cdot 10^{-20}$ Ж.$]$



X БОБ. ТЕРМОДИНАМИКА АСОСЛАРИ

Термодинамиканинг ривожланиши кўп жиҳатдан иссиқлик машиналарининг фойдали иш коэффициентини ўрганиш билан боғлиқдир. Француз инженери Сади Карно 1824 йилда чоп этилган «Оловнинг ҳаракатлантирувчи кучи ҳақида ўйлар» номли ишида иссиқлик машинасининг унумдорлиги ишчи моддага эмас, балки иситувчи ва совитувчилар температураларининг фарқига боғлиқ, деган хулосани илгари сурди. Термодинамика шундан сўнг Клапейрон, Жоуль, Клаузиус, Майер, Томсон ва бошқаларнинг ишларида ривожлантирилди.

Термодинамика қуйидаги ўзига хос хусусиятларга эга:

— моддаларнинг атомлардан ташкил топганлиги эътиборга олинмайди;

— макроскопик системага хос бўлган катталиклар билангина иш кўрилади;

— назария тажриба натижаларига асосланиб яратилади;

— моддаларнинг хоссалари характеристик параметрлари (зичлик, ёпишқоқлик ва ҳоказо) кўринишида ифодаланади.

Термодинамикани ўрганишда қуйидагиларни ёдда тутмоқ зарур.

Термодинамик система. *Ўзаро ва ташқи жисмлар билан таъсирлашадиган ва энергия алмашадиган макроскопик жисмлар мажмуаси термодинамик система дейилади.*

Термодинамик усулнинг асоси — системанинг ҳолатини белгиловчи параметрларининг қийматларини аниқлашдир.

Термодинамик параметрлар ёки ҳолат параметрлари деб термодинамик система хоссаларини характерловчи физик катталиклар мажмуасига айтилади. Одатда, ҳолат параметрлари сифатида температура, босим ва солиштирма ҳажм танланади.

Термодинамик параметрлар. Температура макроскопик системанинг термодинамик мувозанат ҳолатини характерловчи физик катталик.

Босим — суюқлик ёки газ томонидан бирлик юзага перпендикуляр таъсир этадиган куч билан аниқланувчи физик катталик.

Солиштирма ҳажм — бирлик массанинг эгаллаган ҳажми.

У зичликка тескари катталик: $v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho}$.

СИ даги бирлиги $\frac{м^3}{кг}, [v] = \frac{[V]}{[m]} = \frac{1м^3}{1кг} = 1\frac{м^3}{кг}$.

Термодинамик жараёнлар. Термодинамик системанинг ҳолати вақт ўтиши билан ўзгармаса, у ҳолда макроскопик система термодинамик мувозанат ҳолатида бўлади. Термодинамикада фақат мувозанат ҳолатлар қаралади.

Термодинамик системанинг ҳеч бўлмаганда бирорта параметрининг ўзгариши термодинамик жараён дейилади. Термодинамик жараёнда система бошлангич ҳолатдан оралиқ ҳолатлар орқали охирги ҳолатга ўтади. Бу ўтиш қайтар ва қайтмас бўлиши мумкин.

Қайтар ва қайтмас жараёнлар. Қайтар жараён деб системанинг охирги ҳолатдан бошланғич ҳолатга ўша оралиқ ҳолатлар орқали, атроф-муҳитда ҳеч қандай ўзгариш рўй бермасдан ўтишига айтилади. Узун илгакка осилган оғир маятникнинг тебраниши қайтар жараёнга яқин бўлади. Бу ҳолда кинетик энергия амалда тўла потенциал энергияга айланади. Шунингдек, тескариси ҳам ўринли. Муҳитнинг қаршилиги кичик бўлганлиги сабабли тебраниш амплитудаси секин камаяди ва тебраниш жараёни узоқ давом этади.

Маълум қаршиликка учрайдиган ёки иссиқ жисмдан совуқ жисмга иссиқлик узатиш билан рўй берадиган ҳар қандай жараён қайтмас бўлади. Амалда барча реал жараёнлар қайтмас жараёнлардир.

41- §. Системанинг ички энергияси. Ички энергиянинг эркинлик даражалари буйича текис тақсимоти

М а з м у н и : ички энергия; молекулаларининг эркинлик даражалари; идеал газнинг ички энергияси.

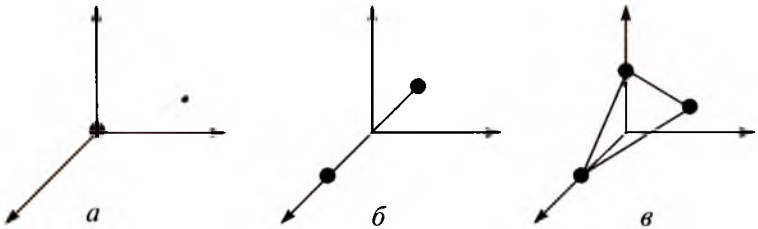
Ички энергия. Термодинамик система кўплаб молекулалар ва атомлардан ташкил топган ва маълум U ички энергияга эга. Термодинамик системанинг ички энергияси деб молекулаларнинг ўзаро таъсир энергиялари ва уларнинг иссиқлик ҳаракат энергияларининг йиғиндисига айтилади.

Ички энергия термодинамик системанинг бир қийматли функциясидир, яъни системанинг ҳар бир ҳолатига ички энергиянинг аниқ бир қиймати тўғри келиб, у система бу ҳолатга қандай қилиб келиб қолганига мутлақо боғлиқ эмас. Агар газ қизитилса, молекула ва атомларнинг тезликлари ҳам ортади, бу эса ички энергиянинг ортишига олиб келади. Агар босим ёки солиштирма ҳажм ўзгартирилса, бу ҳам ички энергиянинг ўзгаришига олиб келади, чунки молекулалар орасидаги масофа ва, демак, уларнинг ўзаро таъсир потенциал энергиялари ҳам ўзгаради.

Одатда, ситеманинг ички энергияси $T = 0\ K$ да нолга тенг деб ҳисобланади, лекин бу муҳим аҳамиятга эга эмас. Чунки система бир ҳолатдан иккинчисига ўтганда ички энергиянинг ўзгариши ΔU аҳамиятга эга бўлади.

Молекулаларнинг эркинлик даражалари. Молекуланинг эркинлик даражаси деб унинг фазодаги ўрнини тўла аниқлаш учун зарур бўлган, бир-бирига боглиқ бўлмаган координаталарнинг умумий сонига айтилади.

Бир атомли газнинг молекуласи учта илгариланма ҳаракат эркинлик даражасига эга: $i = i_{илг} = 3$; (59- *а* расм).



59- расм.

Икки атомли молекула учта илгариланма ва иккита айланма ҳаракат эркинлик даражасига эга: $i_{илг} = 3$, $i_{айл} = 2$, (59- *б* расм).

Икки эркин ўқ атрофида айланиши мумкин. $i = i_{илг} + i_{айл} = 5$;

Уч атомли молекула учта илгариланма ва учта айланма ҳаракат эркинлик даражасига эга: $i_{илг} = 3$; $i_{айл} = 3$. (59- *в* расм.)

Уч атомли газ ҳар учала ўқ атрофида ҳам айланиши мумкин: $i = i_{илг} + i_{айл} = 6$.

Молекулаларнинг эркинлик даражалари нечта бўлишидан қатъи назар уларнинг, албатта, учтаси илгариланма бўлади. Илгариланма ҳаракат эркинлик даражасининг ҳаммаси тенг кучли бўлиб, уларнинг ҳар бирига бир хил $\frac{1}{3} < \varepsilon_0 >$ энергия тўгри келади, яъни

$$< \varepsilon_i >= \frac{< \varepsilon_0 >}{3} = \frac{1}{2} kT, \qquad (41.1)$$

бу ерда ⟨ε⟩ нинг (40.10) ифодасидан фойдаландик. Классик физикада энергиянинг эркинлик даражалари бўйича текис тақсимоти ҳақида Больцман қонуни ўринли. Бу қонунга мувофиқ термодинамик мувозанатдаги статистик системанинг ҳар бир илгариланма ва айланма эркинлик даражаларига $\frac{1}{2}kT$ энергия тўғри келади. Демак, молекуланинг ўртача энергияси

$$< \varepsilon > = \frac{i}{2} kT, \qquad (41.2)$$

бу ерда i — молекуланинг тўла эркинлик даражаси.

Идеал газнинг ички энергияси. Идеал газнинг молекулалари бир-бирлари билан ўзаро таъсирлашмаганлиги учун уларнинг ўзаро таъсир потенциал энергиялари нолга тенг. Демак, идеал газнинг ички энергияси молекулалар кинетик энергияларининг йиғиндисига тенг бўлади. 1 моль газнинг ички энергиясини топиш учун битта молекуланинг ўртача кинетик энергияси ⟨ε⟩ ни молекулалар сони N_A га кўпайтиришимиз керак.

$$U_m = \frac{i}{2} kT \cdot N_A = \frac{i}{2} RT, \qquad (41.3)$$

бу ерда $k \cdot N_A = R$ лиги ҳисобга олинган.

Исталган миқдордаги идеал газнинг ички энергиясини қуйидагича топамиз:

$$U = \nu U_m = \frac{m}{M} U_m = \frac{m}{M} \frac{i}{2} RT = \nu \frac{i}{2} RT, \qquad (41.4)$$

бу ерда M — моляр масса, ν — модда миқдори.

Синов саволлари

1. Термодинамиканинг жадал ривожланишини нима тақозо этган? 2. Термодинамика ўзига хос қандай хусусиятларга эга? 3. Термодинамик система деб нимага айтилади ва у қандай параметрлар билан характерланади? 4. Термодинамик параметрлар деб қандай катталикларга айтилади? 5. Термодинамик усулнинг асоси нимадан иборат? 6. Температура қандай катталик ? 7. Босим қандай аниқланади? 8. Солиштирма ҳажм қандай аниқланади? 9. Термодинамик мувозанат ҳолат деб қандай ҳолатга айтилади? 10. Термодинамик жараён деб нимага айтилади? 11. Қайтар жараён деб қандай жараёнга айтилади? 12. Қайтмас жараён деб қандай жараёнга айтилади? 13. Реал жараёнлар қандай жараёнлар? 14. Термодинамик системанинг ички энергияси. 15. Системанинг ички энергияси қачон нолга тенг бўлади? 16. Система параметрларининг ўзгариши ички энергиянинг ўзгаришига олиб келадими? 17. Молекуланинг эркинлик даражаси деб нимага айтилади? 18. Бир, икки, уч атомли газларнинг эркинлик даражалари нечта? 19. Илгариланма ҳаракат эркинлик даражасига қандай энергия тўғри келади? 20. Энергиянинг эркинлик даражалари бўйича Больцман тақсимоти? 21. Идеал газ молекулаларининг ўзаро таъсир потенциал энергияси нимага тенг? 22. Бир моль идеал газнинг ички энергияси нимага тенг? 23. Исталган миқдордаги идеал газнинг ички энергияси.

42- §. Ички энергиянинг ўзгариши

Мазмуни: газ ҳажмининг ўзгаришида бажарилган иш; иссиқлик алмашуви.

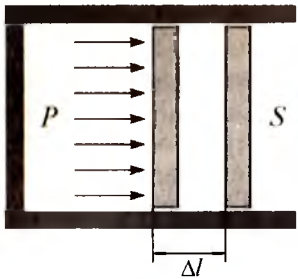
Ички энергияни ўзгартиришнинг усуллари жуда кўп. Шулардан баъзилари билан танишамиз.

Газ ҳажмининг ўзгаришида бажарилган иш. Газ ҳажмининг ўзгаришида ташқи кучларга қарши бажарган иши билан танишайлик. Цилиндр шаклидаги идишда поршень остида газ турган бўлсин (60-расм).

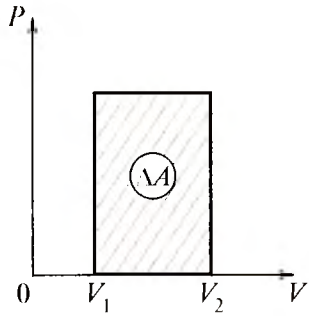
✓ Газ кенгайиб, поршень чексиз кичик Δl га сурилсин. Ҳажмнинг кенгайишини жуда кичик ҳисоблаб, босим ўзгармай қолади ($p = \text{const}$) деб оламиз. Энди газнинг кенгайишда бажарган ишини ҳисоблайлик:

$$A = F \cdot \Delta l = p \cdot s \cdot \Delta l = p \cdot \Delta V, \qquad (42.1)$$

бу ерда $F = p \cdot S$ ва $S \cdot \Delta l = \Delta V$ газ кенгайганда ҳажмининг ўзгариши эканлиги эътиборга олинган. ✓



60- расм.



61- расм.

Бажарилган ишни график равишда тасвирлаймиз. У 61- расмда штрихланган юза билан кўрсатилган. Газнинг ташқи кучларга қарши иш бажариши натижасида унинг ички энергияси камаяди, яъни ҳажм ортиб, молекулалар орасидаги ўртача масофа ҳам ортади, бу эса улар орасидаги ўзаро таъсир энергиясининг камайишига олиб келади.

Газ кенгайганда унинг ички энергияси камаяди, ички энергия ташқи кучларга қарши иш бажаришга, яъни поршенни силжитишга сарфланади.

Газ сиқилганда эса ташқи кучларнинг газ устида бажарган иши ҳисобига ички энергияси ортади.

Иссиқлик алмашинуви. Иккита турли температурали жисмларни бир-бирига теккизайлик. Маълум вақт ўтгандан кейин улар температураларининг тенглашуви рўй беради. Иссиғининг темнератураси пасаяди, совуғиники эса кўтарилади. Бир жисм молекулаларининг бетартиб ҳаракат кинетик энергияси иккинчи жисм молекулаларининг бетартиб ҳаракат кинетик энергиясига ўтади.

Механик иш бажармасдан ички энергиянинг узатилиш жараёни иссиқлик алмашинуви дейилади. Иссиқлик миқдори иссиқлик алмашинуви жараёнида жисмлар оладиган ёки берадиган энергия ўлчовидир.

Иссиқлик ва иш энергиянинг кўриниши эмас, балки унинг узатиш шаклидир. Улар энергиянинг узатилиш жараёнидагина мавжуд бўлади.

Жисмга иссиқлик берилганда унинг ички энергияси ортади, яъни молекулаларининг бетартиб ҳаракат энергияси ортади.

СИ да иссиқлик миқдорининг бирлиги сифатида иш ва энергияники каби Жоуль (Ж) ишлатилади.

СИ киритилгунча иссиқлик миқдорининг бирлиги сифатида калория ишлатилган.

1 г дистилланган сувни 1 °С га, аниқроғи 19,5 °С дан 20,5 °С гача иситиш учун керак бўладиган иссиқлик миқдори 1 калория дейилади: 1 кал=4,19 Ж.

Синов саволлари

1. Ички энергияни ўзгартиришнинг қандай усулларини биласиз? 2. Газ ҳажмининг ўзгаришида бажарилган иш нимага тенг? 3. Газ кенгайганда унинг ички энергияси қандай ўзгаради? 4. Газ сиқилганда унинг ички энергияси қандай ўзгаради? 5. Газ сиқилганда унинг ички энергиясининг ўзгариши ташқи кучлар бажарган ишга тенгми? 6. Иссиқлик алмашинуви деб қандай жараёнга айтилади? 7. Иссиқлик ва иш қачон мавжуд бўлади? 8. СИ да иссиқлик миқдорининг бирлиги нима? 9. Иссиқлик миқдорининг системадан ташқари қандай бирлигини биласиз ва у қандай аниқланган?

43- §. Иссиқлик сиғими. Солиштирма иссиқлик сиғими. Иссиқлик балаиси тенгламаси

Мазмуни: иссиқлик сигими; солиштирма иссиқлик сиғими; СИ да иссиқлик сигимининг бирликлари; иссиқлик баланси тенгламаси.

Иссиқлик сиғими. Иккита тенг массали, турли хил моддалардан ясалган иккита жисмни бир хилда қиздирайлик. Маълум вақтдан кейин уларнинг температураларини ўлчаб тенг эмаслигини биламиз. Бунга сабаб турли моддаларнинг иссиқлик сиғдириш қобилиятларининг турлича эканлигидир. Моддаларни ана шундай қобилиятларини характерлаш мақсадида иссиқлик сигими тушунчаси киритилади.

Жисмнинг иссиқлик сиғими деб унинг температурасини 1 К га ўзгартириш учун керак бўладиган иссиқлик миқдорига айтилади:

$$C = \frac{Q}{\Delta T}, \qquad (43.1)$$

бу ерда $\Delta T = T_2 - T_1$ — жисмнинг кейинги ва олдинги температураларининг фарқи, Q — иссиқлик миқдори.

Жисм 1 К га совиганда исигандагига тенг иссиқлик миқдори ажралиб чиқади. Бир хил моддадан ясалган турли массали жисмларнинг иссиқлик сиғимлари ҳам турлича бўлади.Чунки иссиқлик сиғими массага пропорционал. Баъзан турли хил моддалардан ясалган жисмларнинг иссиқлик сиғимларини солиштириш зарурати пайдо бўлади. Бунинг учун эса тенг массали жисмларнинг иссиқлик сиғимларини билиш керак.

Солиштирма иссиқлик сиғими. Солиштирма иссиқлик сиғими деб 1 кг массали жисмнинг температурасини 1 К га ўзгартириш учун керак бўладиган иссиқлик миқдорига айтилади:

$$c = \frac{C}{m} = \frac{Q}{m \cdot \Delta T} \qquad (43.2)$$

(43.2) ифодадан

$$C = mc. \qquad (43.3)$$

Иссиқлик сиғими солиштирма иссиқлик сиғимининг жисм массасига кўпайтмасига тенг. Агар модданинг солиштирма иссиқлик сиғими маълум бўлса, унинг температурасини $\Delta T = T_2 - T_1$ га ўзгартириш учун зарур бўлган иссиқлик миқдорини аниқлаш мумкин. (43.2) дан оламиз:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T = c \cdot m\,(T_2 - T_1). \qquad (43.4)$$

Турли моддаларнинг солиштирма иссиқлик сигимларини ўлчаш ва солиштириш учун калориметр дейилувчи асбобдан фойдаланилади. Калориметрда жисмлар орасидаги иссиқлик алмашуви ташқи муҳитдан ажратилган ҳолда рўй беради.

СИ да иссиқлик сиғимининг бирликлари. Иссиқлик сиғимининг СИ даги бирлиги.

$$[C] = \frac{[Q]}{[T]} = \frac{1Ж}{1K} = 1\frac{Ж}{K}.$$

Солиштирма иссиқлик сиғимининг СИ даги бирлиги

$$[c] = \frac{[Q]}{[m][T]} = \frac{1Ж}{1кг \cdot к} = 1\frac{Ж}{кг \cdot к}.$$

Иссиқлик баланси тенгламаси. Номаълум жисмнинг солиштирма иссиқлик сиғимини топиш усулини кўрайлик. Бунинг учун қиздирилган жисм ичида сув бўлган калориметрга солинади. Оддий калориметр қопқоқлик металл стаканчадан иборат бўлиб, у ҳажми каттароқ идишга идиш деворлари орасида бўшлиқ қоладиган қилиб жойлаштирилади (62-расм). Натижада қизиган жисмнинг иссиқлик миқдори сувга ва калориметрга узатилади. Жараён жисмнинг, сувнинг ва калориметрнинг температуралари тенглашгунча давом этади. Жисмнинг $T_ж$, сувнинг $T_с$, калориметрнинг $T_к$ бошланғич температуралари, $c_с$ сувнинг, $c_к$ калориметрнинг солиштирма иссиқлик сиғимлари, $m_ж$ жисмнинг, $m_с$ сувнинг, $m_к$ калориметрнинг массаларини билган ҳолда ва аралашманинг температураси T ни термометрдан аниқлаб, жисмнинг солиштирма иссиқлик сигими $c_ж$ ни аниқлаш мумкин.

62- расм.

Жисм берган иссиқлик миқдори $Q_ж$ сув олган иссиқлик $Q_с$ ва калориметр олган иссиқлик миқдори $Q_к$ ларнинг йиғиндисига тенг бўлиши керак, яъни

$$Q_ж = Q_с + Q_к. \qquad (43.5)$$

Бу тенглама иссиқлик баланси тенгламаси дейилади.

Ўз навбатида (43.4) га асосан

$$Q_ж = c_ж \cdot m_ж(T_ж - T), \quad (43.6)$$

$$Q_c = c_c \cdot m_c(T - T_c), \quad (43.7)$$

$$Q_k = c_k \cdot m_k(T - T_k). \quad (43.8)$$

(43.6), (43.7),(43.8) ифодаларни (43.5) га қўямиз:

$$c_ж m_ж(T_ж - T) = c_c \cdot m_c(T - T_c) + c_k \cdot m_k(T - T_k)$$

ва бундан $C_ж$ ни топамиз:

$$c_ж = \frac{c_c \cdot m_c(T - T_c) + c_k \cdot m_k(T - T_k)}{m_ж(T_ж - T)}. \quad (43.9)$$

Бу ифода номаълум жисмнинг солиштирма иссиқлик сиғимини аниқлашга имкон беради.

Синов саволлари

1. Иссиқлик сиғими тушунчаси нима мақсадда киритилган? 2. Жисмнинг иссиқлик сиғими деб нимага айтилади? 3. Жисм совиганда, исигандагига тенг миқдорда иссиқлик ажралиб чиқадими? 4. Солиштирма иссиқлик сиғими тушунчаси нима мақсадда киритилган? 5. Солиштирма иссиқлик сиғими деб нимага айтилади? 6. Иссиқлик ва солиштирма иссиқлик сиғимлари орасида қандай боғланиш мавжуд? 7. Иссиқлик миқдори қандай аниқланади? 8. Калориметр қандай асбоб ва ундан қандай мақсадда фойдаланилади? 9.Иссиқлик сиғимининг СИ даги бирлиги. 10. Солиштирма иссиқлик сиғимининг СИ даги бирлиги. 11. Иссиқлик баланси тенгламаси. 12. Номаълум жисмнинг солиштирма иссиқлик сиғимини аниқлаш формуласи.

44- §. Термодинамиканинг биринчи қонуни ва унинг татбиқлари

М а з м у н и: термодинамиканинг биринчи қонуни; изохорик жараён; изобарик жараён; изотермик жараён; адиабатик жараён.

42- § да система ички энергиясининг ўзгариши икки хил: 1) механик иш бажариш; 2) иссиқлик миқдори узатиш усуллари билан амалга оширилиши мумкинлиги ҳақида баён қилинган эди. Энди бу катталиклар орасидаги муносабатни топишга ҳаракат қиламиз.

Термодинамиканинг биринчи қонуни. Бунинг учун қиздирилаётган чойнак мисолини кўрайлик. Чойнак олаётган иссиқлик миқдори Q ичидаги сувнинг қизишига, яъни сувнинг ички энергияси ортишига ΔU ва сув буғлари чойнак қопқоғини кўтарганда ташқи кучларга қарши (қопқоқнинг огирлик кучи) бажариладиган A ишга сарфланади. Бу жараён учун энергиянинг сақланиш ва айланиш қонуни

$$Q = \Delta U + A \qquad (44.1)$$

кўринишга эга бўлади. Бу термодинамиканинг биринчи қонунининг математик кўринишидир.

Жисмга бериладиган иссиқлик миқдори унинг ички энергиясини орттиришга ва ташқи кучларга қарши иш бажаришга сарфланади.

Агар жисмга иссиқлик миқдори берилаётган бўлса, Q мусбат, агар жисмдан иссиқлик миқдори олинаётган бўлса, Q манфий ишора билан олинади. Шунингдек, агар жисм ташқи кучларга қарши иш бажараётган бўлса, A иш мусбат, ташқи кучлар жисм устида иш бажараётган бўлса, A иш манфий бўлади.

Термодинамиканинг биринчи қонуни биринчи тур абадий двигатель (лотинча «перпетуум мобиле») ясаш мумкин эмаслигини кўрсатади. Биринчи тур перпетуум мобилега асосан тенг миқдорда энергия сарфламасдан иш бажара оладиган машина қуриш ҳақида фикр юритилади. Энергиянинг сақланиш ва айланиш қонуни бўлган термодинамиканинг биринчи қонунида эса табиатда рўй берадиган барча жараёнларда энергия ўз-ўзидан пайдо ҳам бўлмайди, йўқолмайди ҳам , фақат бир кўринишдан бошқасига айланиши мумкин, деб қайд этилади.

Энди термодинамика биринчи қонунининг баъзи жараёнларга татбиқини кўрайлик.

Изохорик жараён. Идеал газнинг ҳажми ўзгармай ($V = \text{const}$), унинг босими ва температураси ўзгаради. Агар газнинг ҳажми ўзгармаса, ташқи кучларга қарши иш бажарилмайди, яъни $A = 0$. Унда термодинамиканинг биринчи қонуни

$$Q = \Delta U \qquad (44.2)$$

кўринишни олади. Демак, идеал газга берилаётган иссиқлик миқдори унинг ички энергиясини ўзгартиришга, бошқача айтганда температуранинг кўтарилишига сарфланади.

(48.4) ифодага асосан

$$\Delta U = c \cdot m \cdot \Delta T \qquad (44.3)$$

ни оламиз.

Изобарик жараён. Идеал газнинг босими ўзгармас ($p = \text{const}$), унинг ҳажми ва температураси ўзгаради. Бунда газга берилган иссиқлик миқдорининг бир қисми унинг ички энергиясини орттиришга, бир қисми эса ташқи кучларга қарши иш бажаришга сарфланади.

$$Q = \Delta U + A. \qquad (44.4)$$

42- § да изобарик жараёнда газ бажарган иш

$$A = p \cdot \Delta V$$

эканлигини кўрган эдик.

Изотермик жараён. Идеал газнинг температураси ўзгармас ($T = \text{const}$), унинг ҳажми ва босими ўзгаради. Агар газнинг темпера-

тураси ўзгармаса, демак, унинг ички энергияси ҳам ўзгармайди: $\Delta U=0$. Бундай жараён учун термодинамиканинг биринчи қонуни

$$Q=A \tag{44.5}$$

кўринишга эга бўлади.

Адиабатик жараён. Атроф-муҳит билан иссиқлик миқдори алмашмасдан рўй берадиган жараёнга *адиабатик жараён* дейилади.

Адиабатик жараёнга тез рўй берадиган жараёнлар мисол бўлади. Мисол учун газ тез сиқилганда бажарилган иш унинг температурасининг, яъни ички энергиясининг ортишига олиб келади. Температура ортиши натижасида атрофга иссиқлик миқдори тарқалиши учун эса маълум вақт керак. Шунинг учун ҳам $Q=0$. Ички ёниш двигателида ёқилғи аралашмасининг ёниши адиабатик жараёнга яхши мисол бўлади.

Адиабатик жараён учун термодинамиканинг биринчи қонуни қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$\Delta U+A=0$$

ёки

$$A=-\Delta U, \tag{49.7}$$

яъни адиабатик жараёнда иш фақатгина ички энергиянинг ўзгариши ҳисобига бажарилади.

Синов саволлари

1. Термодинамиканинг биринчи қонуни. 2. Агар жисмга иссиқлик миқдори берилаётган бўлса, Q қандай ишора билан олинади? Олинаётган бўлса-чи? 3. Агар жисм ташқи кучларга қарши иш бажараётган бўлса, A қандай ишора билан олинади? Ташқи кучлар жисм устида иш бажарганда-чи? 4. Биринчи тур перпетуум мобилени ясаш мумкинми? 5. Энергиянинг сақланиш ва айланиш қонуни. 6. Изохорик жараён учун термодинамиканинг биринчи қонуни. 7. Изобарик жараён учун термодинамиканинг биринчи қонуни. 8. Изотермик жараён учун термодинамиканинг биринчи қонуни. 9. Адиабатик жараён деб қандай жараёнга айтилади? 10. Адиабатик жараёнлар реал жараёнларми? Унга мисол келтиринг. 11. Адиабатик жараён учун термодинамиканинг биринчи қонуни. 12. Адиабатик жараёнда иш нимaнинг ҳисобида бажарилади?

45- §. Термодинамиканинг иккинчи қонуни

М а з м у н и: термодинамиканинг иккинчи қонуни; иккинчи тур перпетуум мобиле.

Термодинамиканинг биринчи қонуни энергиянинг сақланиш ва айланиш қонунини ифодаласа-да, термодинамик жараённинг рўй бериш йўналишини кўрсата олмайди. Мисол учун биринчи қонун,

иссиқлик миқдорининг иссиқ жисмдан совуқ жисмга ўтиш имконияти қандай бўлса, совуқ жисмдан иссиқ жисмга ўтиш имконияти ҳам шундай деб кўрсатади. Аслида эса табиатда қандай жараёнлар рўй бериши мумкин деган савол туғилади? Бунга термодинамиканинг иккинчи қонуни жавоб беради.

Термодинамиканинг иккинчи қонуни. Бу қонуннинг бир нечта шакллари мавжуд бўлиб, уларнинг энг соддаси Клаузиус таърифини келтирамиз.

Иссиқлик миқдори ўз-ўзидан паст температурали жисмдан юқори температурали жисмга ўтмайди.

Амалда чексиз катта бўлган океан сувларидаги иссиқлик миқдори ўз-ўзидан температураси сувникидан пастроқ бўлган жисмгагина ўтиши мумкин. Иссиқлик миқдорини температураси паст жисмдан температураси юқори жисмга ўтказиш учун қўшимча иш бажариш керак. Шу билан бирга, иссиқлик миқдори ишга тўла айланмай, унинг бир қисми атроф-муҳитни қиздиришга сарфланади. Шу нуқтаи назардан иккинчи қонуннинг қуйидаги Планк таърифи ҳам эътиборга молик: Табиатда, иссиқлик миқдори тўлалигича ишга айланадиган жараён бўлиши мумкин эмас.

Иссиқлик ишга айланиши учун иситкич ва совиткич бўлиши даркор. Барча иссиқлик машиналарида иситкичдан совуткичга бериладиган энергиянинг бир қисмигина фойдали ишга айланади. Унда иссиқлик машиналарининг унумдорлиги қандай катталикларга боғлиқ ва уни ошириш учун нима қилмоқ керак деган савол туғилади. Бу саволга иккинчи қонуннинг Карно таърифи жавоб беради: идеал иссиқлик машинасининг фойдали иш коэффициенти иссиқлик берувчи ва иссиқлик олувчиларнинг температуралари билангина аниқланади.

Термодинамика қонунлари амалда қандай машиналар ясаш мумкинлиги ва уларнинг унумдорлигини ортириш учун нималарга эътибор бериш зарурлиги ҳақида йўлланма беради.

Иккинчи тур перпетуум мобиле. Иккинчи тур перпетуум мобиле океан сувларидаги улкан миқдордаги энергиядан иш бажармасдан фойдаланиш мумкин деган ғояга асосланган. Термодинамиканинг иккинчи қонуни эса иссиқлик миқдори фақат иссиқ жисмдан совуқ жисмга ўз-ўзидан ўтиши мумкин, тескариси учун эса қўшимча иш бажариш зарур деб таъкидлайди. Бу эса иккинчи тур перпетуум мобилени ясаш мумкин эмаслигини кўрсатади.

Агар иккинчи тур перпетуум мобилени ясаш мумкин бўлганда эди инсоният жуда улкан энергия манбаига эга бўларди. Океанларда мавжуд 10^{21} кг сувнинг температурасини 1 °С га пасайтиришга эришилса, бу 10^{24} Ж иссиқлик миқдори ажратиб олишга имкон беради. Шунча энергия берувчи кўмирни темир йўл составига юклашак, унинг узунлиги 10^{10} км ни ташкил этади. Бу эса қарийб Қуёш системасининг катталигига тенгдир.

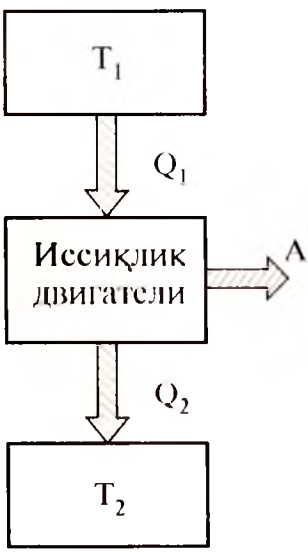
Синов саволлари

1. Термодинамика биринчи қонунининг аҳамияти нимада? 2. Термодинамиканинг биринчи қонуни жараённинг рўй бериш йўналишини кўрсата оладими? 3.Термодинамиканинг иккинчи қонуни. 4. Термодинамика иккинчи қонунининг аҳамияти нимада? 5. Иссиқлик миқдори температураси паст жисмдан температураси юқори жисмга ўтадими? 6. Табиатда иссиқлик миқдори тўлалигича ишга айланадиган жараён бўлиши мумкинми? 7. Иссиқлик ишга айланиши учун қандай шартлар бажарилиши мумкин? 8. Иссиқлик машинасининг фойдали иш коэффициенти нималарга боғлиқ? 9. Иккинчи тур перпетуум мобиленинг гояси нимадан иборат? 10. Иккинчи тур перпетуум мобилени ясаш мумкинми? 11. Океан сувларининг температурасини бир градусга пасайтиришга эришилса, қанча иссиқлик миқдори ажратиб олиш мумкин? 12. Бу энергия қанча кўмир ёнишида ажраладиган энергияга тенг?

46- §. Иссиқлик машинасининг иш принципи. Иссиқлик машинасининг фойдали иш коэффициенти. Карно цикли

Мазмуни: иссиқлик двигатели; иссиқлик двигателининг фойдали иш коэффициенти; Карно цикли; совиткичлар.

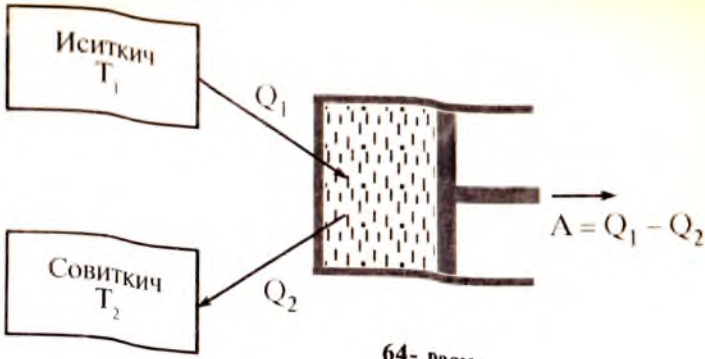
Иссиқлик двигателлари тарихидан. XVIII асрнинг иккинчи ярмида саноатнинг ривожланиши инсониятни меҳнат унумдорлигини орттирувчи қурилмаларни ихтиро қилишга ундади. Биринчи буғ двигателининг лойиҳаси, Россияда 1765 йилда И. Ползунов томонидан яратилди. Инглиз ихтирочиси Ж. Уатт 1784 йилда буғ двигателини ихтиро қилди. Лекин бу қурилмалар унумдорлигининг жуда пастлиги француз инженери Сади Карнони иссиқлик машиналарини такомиллаштириш йўлларини излашга даъват этди.



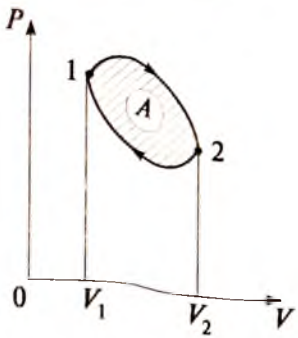
63- расм.

Иссиқлик двигатели. Иссиқлик двигатели деб ёқилгининг ички энергиясини механик энергияга айлантириб берадиган қурилмага айтилади.

Иссиқлик двигателининг иш принципи 63-расмда кўрсатилган. Бир циклда T_1 температурали иситкичдан Q иссиқлик миқдори олиниб, T_2 температурали совиткичга Q_2 иссиқлик миқдори қайтарилади ва $A = Q_1 - Q_2$ миқдордаги иш бажарилади. 64-расмда иссиқлик двига-



64- расм.

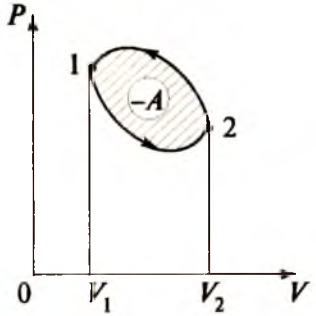


65- расм.

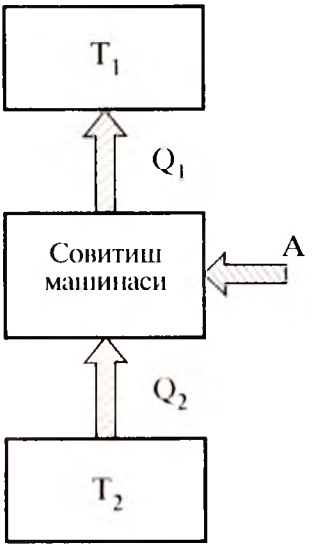
66- расм.

телининг тузилиши кўрсатилган. Ҳар қандай двигатель учта қисмдан иборат: ишчи модда (газ ёки буг), иситкич ва совиткич. Иситкичдан Q_1 иссиқлик миқдори олган ишчи модда кенгайиб иш бажаради. Ёқилғининг ёниши натижасида иситкичнинг температураси T_1 ўзгармас бўлиб қолади. Сиқилишда ишчи модда Q_2 иссиқлик миқдорини $T_2 < T_1$ температурали совиткичга узатади. Иссиқлик двигатели циклик равишда ишлаши керак. Айланма жараён ёки цикл деб система бир қанча ҳолатлардан ўтиб, дастлабки ҳолатига қайтадиган жараёнга айтилади(65-расм). Соат стрелкаси айланиши бўйлаб рўй берадиган жараён (газ олдин кенгайиб, кейин сиқилади) тўғри цикл, соат стрелкаси айланишига тескари йўналишда (газ олдин сиқилиб, кейин кенгаяди) рўй берадиган жараён эса тескари цикл дейилади. Иссиқлик машиналари тўғри цикл, совиткичлар эса тескари цикл асосида ишлайди. Цикл тугаганда ишчи модда ўзининг дастлабки ҳолатига қайтади, яъни унинг ички энергияси бошланғич қийматига эга бўлади.

Карно цикли. Карно цикли иккита изотермик ва иккита адиабатик жараёнлардан ташкил топган (66- расм). *1 — 2* жараёнда идеал газ иситкичдан олинган иссиқлик миқдори (Q_1) ҳисобига изотермик кенгайиб, иш бажаради. $T = \text{const}$ бўлганидан газнинг ички энергияси ўзгармайди. *2 — 3* жараёнда газ адиабатик кенгайиб, ички



67- расм.



68- расм.

энергияси ҳисобига иш бажаради. Чунки бу жараёнда газ иссиқлик миқдори олмайди. *3 — 4* изотермик сиқилишда ажраладиган барча Q_2 иссиқлик миқдори совиткичга узатилиб, ички энергия ўзгармайди. *4 — 1*- адиабатик сиқилишда бажарилган иш газ ички энергиясининг ортишига сарфланади. Шундай қилиб, идеал газ ўзининг дастлабки ҳолатига қайтади ва ички энергиясини тўла тиклайди. Цикл давомида идеал газ иситкичдан Q_1 иссиқлик миқдорини олади ва совиткичга Q_2 иссиқлик миқдори беради. Термодинамиканинг биринчи қонунига мувофиқ, $Q_1 - Q_2$ иссиқлик миқдори иш бажаришга сарфланади ва цикл ўраб турган юзага тенг.

Иссиқлик двигателининг фойдали иш коэффициенти. Иссиқлик двигателининг ёки Карно циклининг фойдали иш коэффициенти (ФИК) деб қуйидаги катталикка айтилади:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}. \qquad (46.1)$$

Шунингдек, Карно циклининг ФИК ни иситкичнинг T_1 ва совиткичнинг T_2 температуралари орқали ҳам ифодалаш мумкин:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}. \qquad (46.2)$$

Демак, иссиқлик машинасининг ФИК ишчи модданинг турига боғлиқ бўлмай, балки иситкичнинг ва совиткичнинг температуралари билангина аниқланади.

(46.1) ифодадан яна қуйидаги хулосаларга келиш мумкин:

1) иссиқлик машинасининг ФИК ни кўтариш учун иситкичнинг температурасини ошириш, совиткичнинг температурасини эса пасайтириш керак;

2) иссиқлик машинасининг ФИК доимо бирдан кичик бўлади.

Ҳозирги пайтда муҳандисларнинг барча ҳаракатлари иссиқлик машиналарининг ФИК ни орттиришга қаратилган. Бунинг учун эса машина қисмлари орасидаги ишқаланишни, ёқилғи тўла ёнмаслиги натижасидаги йўқотишларни камайтириш йўлларини изламоқ даркор. Ҳозирги пайтда иссиқлик машиналарининг Ф.И.К. 40% ни ташкил қилади.

Совиткичлар. Юқорида қайд этилганидек совиткичлар тескари цикл принципида ишлайди (67- расм). Иш бажариш ҳисобига системадан маълум миқдордаги иссиқлик миқдори олинади. Бошқача айтганда, иссиқлик миқдори совуқроқ жисмдан иссиқроқ жисмга ўтказилади ва машина совиткичга айланади (68- расм). Энг кенг тарқалган совитиш машинаси, бу хўжалик музлаткичидир.

Синов саволлари

1. Иссиқлик двигатели деб қандай қурилмага айтилади? 2. Иссиқлик двигателининг иш принципи. 3. Иссиқлик двигателининг тузилиши. 4. Цикл деб нимага айтилади? 5.Тўғри цикл деб қандай циклга айтилади? Тескари цикл деб-чи? 6. Қандай машиналар тўғри циклда ишлайди? Тескари циклда-чи? 7. Карно цикли. 8. Карно циклида бажарилган иш нимага тенг? 9. Карно циклида иш нима ҳисобига бажарилади? 10. Иссиқлик машинасининг фойдали иш коэффициенти (ФИК) 11. Карно цикли ФИК нинг температуралар орқали ифодаси. 12. ФИК ишчи модданинг турига боғлиқми? 13. ФИК иситкич ва совиткичларнинг температураларига боғлиқми? 14. Иссиқлик машинасининг ФИК ни кўтариш учун нима қилиш керак? 15. Иссиқлик машинасининг ФИК қандай қийматларни қабул қилади? 16. Иссиқлик машинаси Ф.И.К. нинг кичик бўлишига сабаб нима? 17. Совиткич қандай принципда ишлайди? 18. Совитишга қандай эришилади?

47- §. Иссиқлик двигателлари. Табиатни муҳофаза қилиш

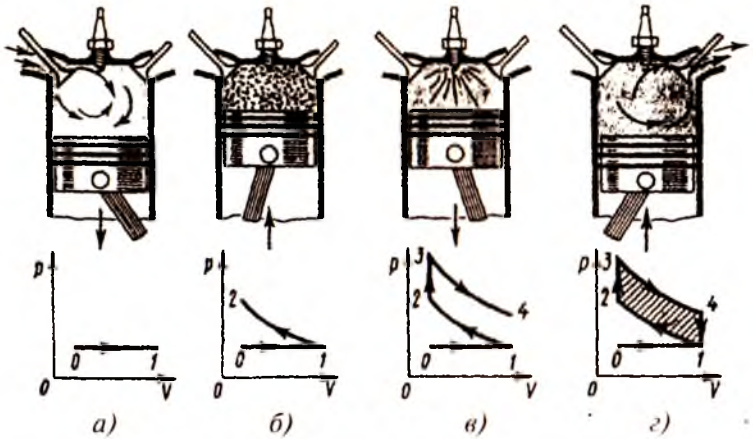
Мазмуни: иссиқлик двигателлари; буғ машинаси; ички ёниш двигатели; карбюраторли двигатель; дизель; реактив двигатель; табиатни муҳофаза қилиш.

Иссиқлик двигателлари. Иссиқлик двигателларига буғ машинаси, буғ турбинаси, ички ёниш двигатели, реактив двигателлар киради.

Буғ машинаси. Буғ машиналари ва буғ трубиналарида иситкич вазифасини буғ қозони, ишчи модда вазифасини буғ, совиткич вазифасини эса атмосфера ёки ишлатилган буғни совитиш қурилмаси — конденсатор бажаради.

Ички ёниш двигатели. Ички ёниш двигателида иситкич ва ишчи модда вазифасини ёқилғи, совиткич вазифасини эса атмосфера ўтайди.

Одатда, ёқилғи сифатида бензин, спирт,керосин ва дизель ёқилғиси ишлатилади. Махсус қурилма (масалан, бензинли двигателлар-



69- расм.

да карбюратор) ёрдамида ёқилғи ва ҳаво аралашма қуринишида тайёрланиб, цилиндрга узатилади. Цилиндрда эса аралашма ёнади. Ёниш маҳсулотлари эса атмосферага чиқариб ташланади. Энди баъзи турдаги двигателларга батафсил тўхталамиз.

Карбюраторли двигатель. Тўрт тактли карбюраторли двигателнинг иш принципи ва ишчи диаграммасини кўрайлик (69- расм). Ташқи кучлар таъсирида поршень пастга қараб ҳаракатланганда (69-*а* расм) киритиш клапани очилиб, ишчи аралашма цилиндрга, яъни карбюраторга тушади.

Жараён атмосфера босими остида изобарик равишда рўй беради. Поршень энг қуйи ҳолатга етганида киритиш клапани ёпилиб, биринчи такт (суриш такти) тугайди: графикда жараён *0 — 1* тўғри чизиқ билан кўрсатилган. Иккинчи (қисиш) такти ҳам (69-*б* расм) ташқи куч таъсирида рўй беради.

Ҳар иккала клапан ҳам ёпиқ ва газ адиабатик равишда қизийди. Бу графикда *1 — 2* чизиққа тўғри келади. Учинчи такт иш жараёнида чақнаб ёниш (69- *в* расм). Поршень энг юқори ҳолатга етганида ўт олдирувчи свеча учқуни аралашмани ёқади ва газнинг босими кескин ортади. Графикда бу *2 — 3* изохорик жараёнга мос келади. Клапан ёпиқ туриб, поршень пастга қараб ҳаракатланади, яъни адиабатик равишда кенгаяди. *3 — 4* чизиқ ишчи юриш дейилувчи тактга тўғри келади (69- *в* расм). Кўриниб турибдики, бу тактда газнинг босими пасаяди, ҳажми ортади, температураси пасаяди. Бу ҳолда бажарилган иш мусбат бўлиб, у газ ички энергиясининг камайиши ҳисобига бажарилади. Тўртинчи такт чиқариб ташлаш (69- *г* расм). Поршень энг пастга етганида чиқариш клапани очилиб, ёниш маҳсулотлари чиқариш мосламаси орқали атроф-муҳитга чиқариб ташланади. Газнинг босими пасаяди ва такт охирида атмосфера босимига тенг бўлиб қолади. Графикда бу изохорик жараён *4 — 1* чизиқ

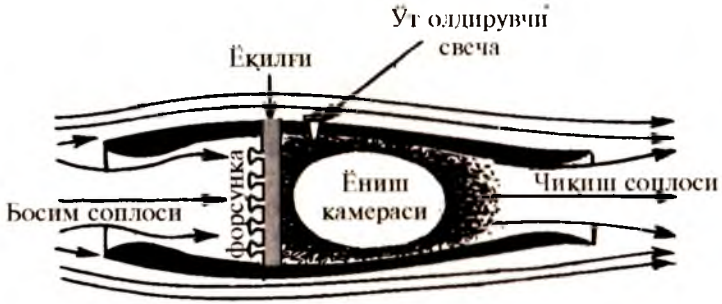
билан кўрсатилган. Поршень маховик энергияси ҳисобига юқори ҳолатига қайтади ва такт тугайди.

Кўрилган ёпиқ жараёнда бажарилган иш жараёнлар чизиқлари билан ажратилган штрихланган шаклнинг юзасига тенг бўлади. Графикни таҳлил қилиш шуни кўрсатадики, *3 — 4* қисмдаги кенгайиш *1 — 2* қисмдаги қисилишга нисбатан каттароқ босимда рўй беради. Айнан шунинг натижасида двигатель фойдали иш бажаради. *3-2* ва *4 — 1* изохорик жараёнларда (V= const) иш нолга тенг ва юқорида қайд этилганидек, фойдали иш адиабатик кенгайиш ва сиқилишларнинг фарқлари билан аниқланади.

Амалда ички ёниш двигателларининг ФИК 20 — 30% ни ташкил этади. Уларнинг ФИК ни орттириш учун эса аралашмани кўпроқ сиқиш керак. Лекин ички ёниш двигателларида ёқилғи аралашмасини қаттиқ сиқиш мумкин эмас, чунки сиқилган ёқилғи қизиб, ўз-ўзидан ёниб кетиши мумкин. Бу эса двигателнинг иш принципини бузади.

Дизель. Олмон инженери Дизель юқоридаги қийинчиликлардан холи ва ФИК анча юқори бўлган двигателни яратди. Дизелларда сиқиш даражаси анча юқори бўлиб, унинг охирида ҳавонинг температураси, ёқилғи ўз-ўзидан ўт олиши учун етарли даражада баланд бўлади. Ёқилғи эса карбюраторли двигателларникидек бирданига эмас, балки аста-секин, поршень ҳаракатининг бирор қисми давомида ёнади. Ёқилғининг ёниш жараёни ишчи бўшлиқнинг ҳажми ортиб бориши давомида рўй беради. Шунинг учун ҳам газларнинг босими иш давомида ўзгармай қолади. Шундай қилиб, дизелда аралашманинг ёниш жараёни ўзгармас босимда рўй беради. Карбюраторли двигателларда эса бу жараён ўзгармас ҳажмда рўй берар эди. Дизель, карбюраторли двигателга қараганда тежамкорроқ бўлиб, ФИК ҳам анча юқори, қарийб 40% ни ташкил қилади. Унинг қуввати ҳам анча катта бўлиши мумкин. Шу билан бирга, анча арзон ёқилғида ҳам ишлайверади. Дизеллар стационар қурилмаларда, темир йўл, ҳаво ва сув транспортларида кенг қўлланилади. Ҳозирги пайтда кичик қувватли дизеллар автомашина ва тракторларда ҳам кўп ишлатилмоқда.

Реактив двигатель. 70- расмда реактив двигателнинг схемаси келтирилган. Унинг иш принципи қуйидагича. Самолёт учганда қаршидан келаётган ҳаво оқими босим ҳосил қиладиган сопло орқали ўтиб, форсунка сочаётган ёқилғини қўшиб олади. Ҳосил бўлган ишчи ёқилғи сўнгра ёниш камерасига тушади ва ўт олдирувчи свеча ёрдамида ёнади. Ишчи аралашманинг ёниши натижасида ҳосил бўлган газлар катта тезлик билан чиқариш тирқиши — сопло орқали чиқариб ташланади. Аралашманинг ёниши босимнинг кескин ортишига олиб келади ва натижада соплодан чиқадиган газнинг тезлиги двигателга кираётган газнинг тезлигидан жуда катта бўлади. Айнан шу тезликлар фарқи натижасида ҳаракат миқдорининг сақланиш қонунига мувофиқ, реактив тортиш кучи вужудга келади.



70- расм.

Ҳозирги иссиқлик машиналарининг ФИК 40% дан (ички ёниш двигателлари) 60% гача (реактив двигателлар) бўлиши мумкин. Шунинг учун ҳам олимлар мавжуд двигателларни такомиллаштириш йўлида тинимсиз изланишлар олиб боришмоқда. Шу билан бирга, ички ёниш двигателларининг тинимсиз кўпайиб бораётганлиги табиатга ва атроф-муҳитга катта хавф тугдирмоқда. Экологик тоза двигателларни яратиш бугунги куннинг энг долзарб муаммоларидан биридир.

Табиатни муҳофаза қилиш. Табиатнинг олий маҳсули бўлмиш инсон, қолаверса бошқа жонзотлар ҳам шу табиатнинг бир қисмидир. Улар яшаши ва ривожланиши учун эса зарур неъматлар — тоза ҳаво, тоза сув ва тоза маҳсулотлар керак. Биз нафас оладиган ҳаво Ер атмосферасини ташкил қилувчи газларнинг аралашмасидир. Унинг таркибида кислород, азот, водород ва бошқа табиий газлардан ташқари чанг, тутун, туз зарралари ва бошқа аралашмалар мавжуд. Бундан ташқари, ҳаво таркибида саноат чиқиндилари ҳам бўлади.

Иссиқлик двигателларининг кўп миқдорда ишлатилиши ҳам атроф-муҳитга салбий таъсир кўрсатади. Ҳисоб-китобларга қараганда ҳозирги пайтда ҳар йили 2 миллиард тонна кўмир ва 1 миллиард тонна нефть ёқилади. Бу эса Ердаги температуранинг кўтарилишига ва натижада музликларнинг эриб, океанлардаги сув сатҳининг кўтарилишига олиб келиши мумкин. Бундан ташқари, атмосферага 120 миллион тонна кул ва 60 миллион тоннагача заҳарли газ чиқариб ташланади.

Дунёдаги 200 миллондан ортиқ автомобиль ҳар куни атмосферани углерод (II) оксид, азот ва углеводородлар билан заҳарлайди. Иссиқлик ва атом электр станциялари қувватларининг ортиши билан сувга бўлган эҳтиёж ҳам ортиб боради. Шунинг учун ҳозир ҳаво ва сув ҳавзаларининг ифлосланишидан сақланишнинг бевосита ва билвосита усулларидан фойдаланилади. Бевосита усул бу турли тутунлар ва газларни тозалаб чиқариш; атмосферани кам ифлослантирадиган ёқилгилар — табий газ, олтингугуртсиз нефть ва бошқалардан фойдаланиш; бензинсиз юрадиган автомобиль двигателларини яратиш ва ҳоказолар.

Билвосита усуллар атмосферанинг пастки қатламидаги заҳарли моддаларнинг концентрациясини кескин камайишига олиб келади. Булар чиқинди чиқувчи манбаларнинг баландлигини орттириш, метереологик шароитларини ҳисобга олиб аралашмаларни ҳавога сочиб юборишнинг турли усулларидан фойдаланиш ва ҳоказолар.

Ер майдони ва сув захираларидан оқилона фойдаланиш мақсадида эса сув таъминотининг ёпиқ цикли асосида ишловчи электростанциялар мажмуасини қуриш назарда тутилади.

Ҳозирги пайтда ҳавога кул, чанг, қоракуя, заҳарли газлар чиқарадиган иссиқлик электр станциялари ва бошқа корхоналарни тозалаш қурилмаларисиз ишга тушириш тақиқланган. Табиатга зиён келтирадиган корхоналар, одатда, шаҳар ташқарисида қурилмоги керак. Кўкаламзорлаштириш ишларининг кўламини эса иложи борича кенгайтириш мақсадга мувофиқдир.

Синов саволлари

1. Иссиқлик двигателларига нималар киради? 2. Буғ машинаси. 3. Ички ёниш двигатели. 4. Ички ёниш двигателининг иш принципи. 5. Карбюраторли двигателнинг иш принципи. 6. Карбюраторли двигателнинг ишчи диаграммасини тушунтиринг. 7.Карбюраторли двигатель ниманинг ҳисобига фойдали иш бажаради? 8. Ички ёниш двигателининг ФИК қанча? 9. Ички ёниш двигатели ФИК ни оширишнинг нима қийинчилиги бор? 10. Дизелнинг иш принципи. 11. Дизелнинг иш принципи карбюраторли двигателникидан нимаси билан фарқ қилади? 12. Дизелнинг ФИК қанча? 13. Дизелда ФИК нинг юқорироқ бўлишига қандай эришилади? 14. Дизелнинг қандай афзаллик томонлари бор? 15. Реактив двигателнинг иш принципи. 16. Реактив тортиш кучи қандай вужудга келтирилади? 17. Реактив двигателларнинг ФИК қанча? 18. Ички ёниш двигателлари табиатни ифлосламайдими? 19. Турли саноат чиқиндилари инсон, ҳайвонот ва ўсимлик дунёсига зарар келтирмайдими? 20. Ёқилғиларнинг кўп ишлатилиши Ердаги ўртача температуранинг кўтарилишига олиб келмайдими? 21. Табиатни муҳофаза қилиш учун қандай чора-тадбирлар кўрилмоқда? 22. Саноат корхоналарининг қурилишига қандай талаблар қўйилган?

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. 5 кг массали азот ҳажми ўзгармасдан 150 К гача қиздирилди. Газга берилган иссиқлик миқдори Q, ички энергиянинг ўзгариши ΔU, газ бажарган иш A топилсин.

Берилган:

$m = 5$ кг,
$\Delta T = 150$ К
$V = \text{const}$,

Ечиш. Газнинг ташқи кучларга қарши бажарган иши $A = p \cdot \Delta V$.

$L = 5.$

$Q = ?$
$\Delta U = ?$
$A = ?$

Агар $V = \text{const}$ эканлигини назарда тутсак, $\Delta V = 0$, демак, $A = 0$ бўлади. Унда ушбу жараён учун термодинамиканинг биринчи қонуни

$$Q = \Delta U$$

кўринишни олади.

Ички энергиянинг ўзгариши ΔU ни

$$\Delta U = \frac{i}{2} \cdot \frac{m}{M} R \cdot \Delta T$$

формуладан топиш мумкинлигини эътиборга оламиз, бу ерда $i = 5$ — азот молекуласининг эркинлик даражаси, $M = 28 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$ азотнинг моляр массаси, $R = 8{,}31 \frac{\text{Ж}}{\text{К} \cdot \text{моль}}$ газ моляр доимийси. Берилганлар ёрдамида топамиз:

$$\Delta U = \frac{5}{2} \cdot \frac{5}{28 \cdot 10^{-3}} \cdot 8{,}31 \cdot 150\text{Ж} = 556{,}5\text{кЖ}$$

Жавоб. А=0, ΔU=556,5 кЖ; Q = 556,5 кЖ.

2-масала. Фойдали иш коэффициенти 0,4 га тенг бўлган Карно циклида газнинг изотермик равишда кенгайишда бажарилган иш 8 Ж бўлса, газнинг изотермик равишда сиқилишидаги иш аниқлансин.

Берилган:
$\eta = 0{,}4;$
$A_к = 8$ Ж;
$T = \text{const};$

$A_с = ?$

Ечиш. Циклнинг pV — диаграммасини тузамиз (66-расм). *1 — 2* ўтиш газнинг изотермик кенгайишини; *3 — 4* ўтиш эса изотермик сиқилишини кўрсатади. Карно циклининг ФИК қуйидагича аниқланади:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1},$$

бу ерда Q_1 — газ иситкичдан олган иссиқлик миқдори, Q_2 — газ совиткичга берган иссиқлик миқдори. Изотермик кенгайишда бажарилган $A_к$ иш газ иситкичдан олган Q_1 иссиқлик миқдорига, изотермик сиқилишдаги $A_с$ иш эса газ совиткичга берган Q_2 иссиқлик миқдорига тенг бўлади, яъни

$$Q_1 = A_к; \quad Q_2 = A_с.$$

Унда циклнинг Ф.И.К. қуйидаги кўринишни олади:

$$\eta = \frac{A_к - A_с}{A_к}$$

ёки бундан $A_с$ ни топсак,

$$A_с = (1 - \eta) A_к.$$

Берилганлар ёрдамида оламиз:

$$A_c = (1 - 0{,}4) \cdot 8Ж = 4{,}8Ж.$$

Жавоб. $A_c = 4{,}8$ Ж.

Мустақил ечиш учун масалалар

1. Температураси 20 °С га ортганда 200 г гелийнинг ички энергияси қанчага ўзгаради? ($\Delta U = 12{,}5$ кЖ.)
2. 320 г кислородни 10 К га изобарик қиздирилганда қанча иш бажарилади? ($A = 830$ Ж.)
3. 15 °С температурали 1,5 кг сув бўлган идишга 100 °С температурали 200 г сув буги киритилди. Буғ конденсациялангандан кейин умумий температура қандай бўлади? ($t = 89$ °С.)
4. Идеал иссиқлик машинаси қиздиргичининг температураси 117 °С, совиткичиники 27 °С. Машинанинг 1с да қиздиргичдан олаётган иссиқлик миқдори 60 кЖ га тенг. Машинанинг ФИК ини, 1 с да совиткичга берилаётган иссиқлик миқдорини ва машинанинг қувватини ҳисобланг. ($\eta = 23\%$; $Q_c = 46$ кЖ; $P = 14$ кВт.)

XI БОБ. МОДДАЛАРНИНГ АГРЕГАТ ҲОЛАТЛАРИ

38- § да қайд этганимиздек, моддаларнинг агрегат ҳолатлари молекулаларнинг ўзаро таъсир потенциал энергиясининг энг кичик қиймати $E_{п\,min}$ ва иссиқлик бетартиб ҳаракати кинетик энергиясининг ўртача қиймати $<E_к>$лар орасидаги муносабатлар ёрдамида аниқланади:

1) агар $\langle E_к \rangle >> E_{п\,min}$ бўлса, модда газ ҳолатида;
2) агар $\langle E_к \rangle << E_{п\,min}$ бўлса, модда қаттиқ ҳолатда;
3) агар $\langle E_к \rangle = E_{п\,min}$ бўлса, модда суюқлик ҳолатида бўлади.

Энди агрегат ҳолатларнинг хоссаларига ва моддаларнинг бир агрегат ҳолатдан иккинчисига ўтиш жараёнига батафсил тўхталамиз.

48- §. Реал газлар. Реал газнинг ҳолат тенгламаси

Мазмуни: реал газ; молекулаларининг хусусий ҳажмлари; молекулаларнинг ўзаро таъсири; реал газнинг ҳолат тенгламаси.

Реал газ. Биз молекуляр физика бўлимида идеал газ моделидан кенг фойдаландик.Чунки паст босим остида қиздирилган ва сийраклаштирилган реал газларнинг хоссалари идеал газникига жуда яқин бўлади. Аммо босим ортиши билан молекулалар орасидаги ўртача масофа камайиб боради ва натижада молекулаларнинг хусусий ҳажмлари ва улар орасидаги ўзаро таъсирни ҳисобга олиш зарурати туғилади. Яъни табиатда мавжуд бўлган газ — реал газ билан иш кўришга тўғри келади.

Молекулаларнинг хусусий ҳажмлари. Нормал шароитда 1 м^3 газда $2{,}68 \cdot 10^{25}$ та молекула мавжуд бўлиб, тахминан 10^{-4}м^3 ҳажмни эгаллайди (молекуланинг радиуси 10^{-10}м деб олинган.) Албатта, 1 м^3 ҳажмнинг ўн мингдан бир қисмини ҳисобга олмаслик мумкин. Лекин 500 МПа босим остида молекулаларнинг хусусий ҳажми газ эгаллаган ҳажмнинг ярмини ташкил этади. Бундай ҳолда газ молекулаларининг хусусий ҳажмларини ҳисобга олмаслик мутлақо мумкин эмас. Шунинг учун ҳам идеал газ учун ёзилган Клапейрон — Менделеев тенгламаси

$$pV_м = RT$$

да (бир моль газ учун) молекулаларнинг хусусий ҳажмларини ҳисобга олувчи тузатиш киритиш керак.

Молекулаларнинг хусусий ҳажмларини b ҳарфи билан белгиласак, у ҳолда молекулалар ҳаракат қилиши мумкин бўлган эркин ҳажм

$$V_м - b \qquad (48.1)$$

га тенг бўлади, бунда $V_м$ — бир моль газнинг ҳажми.

Молекулаларнинг ўзаро таъсири. Газ молекулалари орасидаги сир кучи газда қўшимча босим вужудга келишига олиб келади. босим *ички босим* дейилади. Голландиялик физик И. Ван-дер-а л ь с нинг ҳисоб-китобларига қараганда ички босим моляр нинг квадратига тескари пропорционал:

$$p' = \frac{a}{V_м^2}, \tag{48.2}$$

бу ерда a — молекулалар орасидаги тортишиш кучларини характерловчи Ван-дер-Ваальс доимийси. Демак, реал газда босим

$$\left(p + \frac{a}{V_м^2}\right) \tag{48.3}$$

бўлади, бу ерда p — идеал газнинг босими.

Реал газнинг ҳолат тенгламаси. Энди (48.1) ва (48.3) ни ҳисобга олиб (яъни Клапейрон — Менделеев тенгламасидаги босим ва ҳажмлар ўрнига топилган ифодаларни қўйиб), ҳолат тенгламасини ёзамиз:

$$\left(p + \frac{a}{V_м^2}\right) \cdot (V_м - b) = RT. \tag{48.4}$$

Бу тенглама бир моль газ учун Ван-дер-Ваальс тенгламаси ёки реал газнинг ҳолат тенгламаси дейилади.

a ва b ҳар бир газ учун алоҳида қийматларни қабул қиладиган ва тажрибалар ёрдамида аниқланадиган ўзгармаслар.

(48.4) тенгламани исталган миқдордаги ν газга мослаштириш учун $V = \nu V_м$; $V_м = V/\nu$ лигини ҳисобга оламиз:

$$\left(p + \frac{\nu^2 a}{V^2}\right)\left(\frac{V}{\nu} - b\right) = RT \tag{48.5}$$

ёки

$$\left(p + \frac{\nu^2 a}{V^2}\right)(V - \nu b) = \nu RT. \tag{48.6}$$

Синов саволлари

1. Моддаларнинг агрегат ҳолатлари қандай аниқланади? 2. $\langle E_к \rangle \gg E_{п\,min}$ қандай ҳолат? 3. $\langle E_к \rangle \ll E_{п\,min}$ қандай ҳолат? 4. $\langle E_к \rangle \approx E_{п\,min}$ қандай ҳолат? 5. Реал газ қандай газ ва у идеал газдан нимаси билан фарқ қилади? 6. Нормал шароитда молекулаларнинг хусусий ҳажмларини ҳисобга олиш шартми? 7. Қачон молекулаларнинг хусусий ҳажмларини ҳисобга олиш керак? 8. Молекулалар ҳаракат қиладиган хусусий ҳажм нимага тенг? 9. Реал газда ички босимни қандай кучлар вужудга келтиради? 10. Ички босим нимага тенг? 11. Реал газнинг умумий босими нимага тенг? 12. Бир

моль газ учун ҳолат тенгламаси. 13. Исталган миқдордаги газ учун ҳолат тенгламаси. 14. Ван-дер-Ваальс доимийларининг қийматлари қандай аниқланади?

49- §. Буғланиш ва конденсация. Тўйинган буғ. Ван-дер-Ваальс изотермалари. Критик ҳолат

Мазмуни: буғланиш; конденсация; тўйинган буғ; Ван-дер-Ваальс изотермалари; критик ҳолат; қиздирилган буғ ва ундан техникада фойдаланиш.

Буғланиш. Моддaнинг буғ (газ) ҳолатига ўтишига буғланиш дейилади. Нафақат суюқликлар эмас, балки қаттиқ жисмлар ҳам буғланади. Қаттиқ жисмларнинг бугланиши *сублимация* ёки *вазгонка* дейилади.

Суюқликнинг бугланишини кўрайлик. Буғланиш суюқлик молекулаларининг бетартиб ҳаракатининг натижасидир. Ҳар қандай молекула суюқлик сиртидан узилиб чиқиши учун молекулалар орасидаги тортишиш натижасида вужудга келадиган сирт қатлами қаршилигини енга олиши керак. Яъни молекулаларнинг кинетик энергияси сирт қатламидан узилиб чиқиши учун етарли бўлмоғи даркор. Суюқлик молекуласи сирт қатламидан, суюқлик молекулалари орасидаги тортишиш кучларининг таъсир радиусидан каттароқ масофага узоқлашса, буғ молекуласига айланади. Суюқлик молекулаларининг тезликлари турлича. Уларнинг орасида энг катта тезликка эга бўлганларигина (энг катта кинетик энергияга эга бўлганларигина) суюқлик сиртидан чиқа олади. Натижада суюқликда тезлиги кичик молекулалар қолиб, суюқликнинг температураси пасаяди. Суюқликнинг температурасини ўзгармас қилиб сақлаш ёки буғланиш жараёнини тезлатиш учун эса қўшимча иссиқлик миқдори берилади. Агар суюқлик қиздирилса, катта тезликли молекулаларнинг сони ҳам ортади ва натижада суюқлик сиртидан узилиб чиқадиган молекулалар сони кўпаяди. Суюқликларнинг табиатига қараб молекулалари орасидаги тортишиш кучлари ҳам турлича, демак, улардаги чиқиш иши, яъни молекула суюқлик сиртидан узилиб чиқиши учун бажариши керак бўлган иш ёки бир хил миқдордаги суюқликларни тўла буғлатиш учун зарур бўладиган иссиқлик миқдори ҳам турличадир. Суюқликларнинг айнан шу хусусиятларини характерлаш мақсадида буғ ҳосил бўлиш солиштирма иссиқлиги тушунчаси киритилади.

Ўзгармас температурада 1 кг суюқликни буғга айлантириш учун зарур бўлган иссиқлик миқдори буғ ҳосил бўлиш солиштирма иссиқлиги дейилади ва *r* ҳарфи билан белгиланади.

$$r = \frac{Q}{m}, \qquad (49.1)$$

бу ерда Q — иссиқлик миқдори, m — суюқлик массаси.

СИ да буғ ҳосил бўлиш солиштирма иссиқлигининг бирлиги Ж/кг.

$$[r] = \frac{[Q]}{[m]} = \frac{1Ж}{1кг} = 1\frac{Ж}{кг}$$

Конденсация. Совиш ёки сиқилиш натижасида буғнинг суюқлик ёки қаттиқ жисм ҳолатига ўтишига конденсация дейилади.

Суюқликни буғлатиш учун қанча иссиқлик миқдори сарфланган бўлса, конденсацияланганда ҳам шунча энергия ажралиб чиқади. Демак, буғланишда модданинг ички энергияси ортса (иссиқлик миқдори олинади), конденсацияда ички энергияси камаяди (энергия ажралади). Ҳар иккала жараён ҳам модда ва атроф-муҳит ўртасида энергия алмашувининг натижасидир.

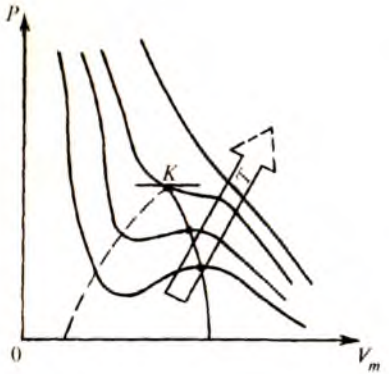
Конденсация икки хил усулда рўй бериши мумкин. Бетартиб ҳаракат қилаётган буғ молекуласи қайтадан суюқлик молекулаларининг таъсир доирасига тушиб қолиши мумкин. Бундай молекулаларни суюқлик ўзига сингдириб олади.

Совиш натижасида буғ молекулаларининг энергиялари камаяди ва улар бирикиб, томчилар ҳосил қилиб, суюқликка қайтиб тушади. Ёмғир, қор, шудринг ва қировлар сув бугларининг табиатда конденсацияланишининг натижасидир.

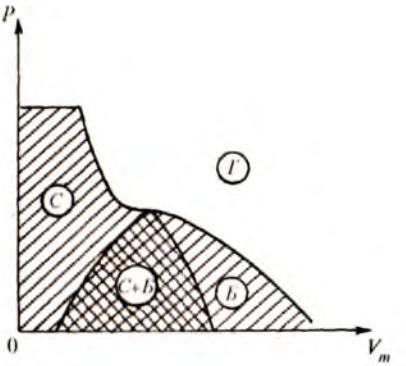
Тўйинган буғ. Суюқлик ҳавоси сўриб олинган ёпиқ идишга солинган бўлсин. Дастлаб, суюқликдан буғланаётган молекулаларнинг сони ортиб боради . Буғ молекулаларининг сони ортиши билан конденсацияланадиган молекулалар сони ҳам кўпаяди. Маълум бир пайтда бугланаётган ва конденсацияланаётган молекулалар сони тенглашади. Бундай ҳолат буғ ва суюқликнинг динамик мувозанат ҳолати дейилади. **Суюқлик билан динамик мувозанатда бўлган буғ тўйинган буғ дейилади.** Ўзгармас температурада суюқлик устидаги буғ молекулаларининг сони ортиб бориши билан буғ босими ҳам ортиб боради. **Буғ тўйинганда босим ҳам ўзининг энг катта қийматига эришади.**

Энди ўзгармас температурада тўйинган буғ босимининг ҳажмга боғлиқлигини ўрганайлик. Жараён изотермик бўлгани учун (T=const) реал газ, яъни Ван-дер-Ваальс изотермаларига мурожаат қиламиз.

Ван-дер-Ваальс изотермалари. 71- расмда бир моль газ учун Ван-дер-Ваальс изотермалари келтирилган. Изотермалардан бирида фақат битта эгилиш нуқтаси ($к$) мавжуд. Бу изотерма *критик изотерма* дейилади. Критик изотерманинг бурилиш нуқтаси критик нуқта, ундаги температура $T_к$ критик температура, босим $p_к$ **критик босим, ҳажм $V_к$ критик ҳажм дейилади. ($p_к$, $V_к$, $T_к$) параметрли ҳолат эса критик ҳолат дейилади**. Критик температурадан юқори температурадаги ($T>T_к$) изотерма идеал газ изотермасига ўхшайди. Критик температурадан паст температурали изотермалар ($T<T_к$) эса тўлқинсимон қисмларга эга. Агар барча изотермалардаги тўлқинларнинг энг чекка нуқталарини туташтириб чиқсак, қўнғироққа ўхшаш чизиқ



71- расм.



72- расм.

ҳосил бўлади (72- расм). Бу чизиқ ва критик изотерма — $p, V_м$ диаграммани уч қисмга бўлади. Қўнғироқсимон чизиқ остида икки хил суюқлик ва тўйинган буғ ҳолати ётади. Чап томонда суюқ ҳолат, ўнг томонда эса буғ ҳолати ётади. Буғнинг газ ҳолатидан фарқи шундаки, у сиқилганда суюқликка айланади. Критик температурадан юқори температурадаги газ эса ҳеч қандай босимда ҳам суюқликка айланмайди.

Демак, критик температура газ суюқликка айланиши мумкин булган энг юқори температурадир.

Критик ҳолат. Критик ҳолатда модда ўзини қандай тутади, деган савол тугилади? Температура ортиши билан тўйинган буғнинг зичлиги ортиб боради, суюқликнинг зичлиги эса кенгайиши натижасида камайиб боради. Температура кўтарилган сари бу зичликларнинг қийматлари бир-бирига яқинлашади ва маълум бир температурада тенглашади. Бошқача айтганда, суюқлик ва буғ орасидаги фарқ йўқолади. **Суюқликнинг бундай ҳолати критик ҳолат, температурага эса критик температура дейилади.** Юқорида айтилганидек, критик ҳолат критик параметрлар p, V, T билан характерланади. Ҳар бир суюқлик учун критик температуранинг қийматлари турлича бўлади. Масалан, гелий учун $T_к$ =5K, сув учун $T_к$ = 647K.

Қиздирилган буғ ва ундан техникада фойдаланиш. Бир хил босимда ўзининг тўйиниш температурасидан юқори температурага эга бўлган буғга қиздирилган буғ дейилади.

Қиздирилган буғ иссиқлик двигателлари турбиналарида ишчи модда бўлиб хизмат қилади.

Маълумки, ёқилгининг ички энергиясидан унумли фойдаланишнинг самарали усулларидан бири уни бугнинг энергиясига айлантиришдир. Буғ кенгайиб иш бажаради ва совийди. Унинг ички энергияси ҳаракатланаётган поршеннинг ёки айланаётган турбинанинг механик энергиясига айланади. Қозонда ҳосил қилинган қиздирилган (қуруқ) буғ турбиналарга юборилади. Қиздирилган бугнинг температураси шу қадар юқорики, бундай турбиналарнинг ФИК 45% дан юқори бўлади.

Турбинада иш бажаргандан кейин ҳам буғ юқори температурага ва катта энергия захирасига эга бўлади ва иситиш системаларида фойдаланилади.

Сув буғининг энергиясидан иссиқлик электростанцияларининг буғ турбиналарида, иссиқлик машиналарида ва озиқ-овқат саноатида кенг фойдаланилади.

Синов саволлари

1. Бугланиш деб нимага айтилади? 2. Қаттиқ жисмларнинг бугланишига нима дейилади? 3. Қачон молекула суюқликни тарк этиши мумкин? 4. Қачон суюқлик молекуласи буғ молекуласига айланади? 5. Бугланиш натижасида суюқликнинг температураси ўзгарадими? 6. Бугланишда суюқлик температурасининг ўзгаришига сабаб нима? 7. Бугланишда температуранинг ўзгаришига учта мисол келтиринг. 8. Қиздирилган суюқликда бугланиш жараёнининг тезлашишини қандай тушунтирасиз? 9. Турли суюқликлар учун молекула суюқлик сиртидан узилиб чиқиши учун бажариши керак бўлган иш тенгми? 10. Нима мақсадда буг ҳосил бўлиш солиштирма иссиқлиги тушунчаси киритилган? 11. Буғ ҳосил бўлиш солиштирма иссиқлиги деб нимага айтилади? Унинг СИ даги бирлиги. 12. Конденсация деб нимага айтилади? 13. Конденсацияда энергия ажраладими ёки ютиладими? 14.Конденсацияда системанинг ички энергияси ортадими ёки камаядими? 15. Конденсациянинг руй бериш усуллари. 16. Ёмғир, қор, шудринг ва қиров қандай ҳосил бўлади? 17. Қандай буғ тўйинган буғ дейилади? 18. Тўйинган буғ босими қандай бўлади? 19. Ван-дер-Ваальс изотермалари идеал газ изотермаларидан нимаси билан фарқ қилади? 20. Критик изотерма деб қандай изотермага айтилади? 21. Бурилиш нуқтаси ва ундаги параметрлар қандай номланади? 22. Қўнғироқсимон чизиқ p, V_m диаграммани нечта ва қандай қисмларга ажратади? 23. Газ суюқликка айланиши мумкин бўлган энг юқори температура қандай температура? 24. Критик ҳолат деб қандай ҳолатга айтилади? 25. Критик параметрларнинг қийматлари турли суюқликлар учун ҳам бир хилми? 26. Қиздирилган буғ деб қандай буғга айтилади? 27. Буғ турбиналарининг ФИК нимага тенг? 28. Турбинада иш бажарган буғдан фойдаланиладими?

50- §. Газларни суюлтириш

Мазмуни: газларни суюлтириш; суюлтирилган газнинг техникада ишлатилиши.

Газларни суюлтириш. Газнинг суюқлик ҳолатига ўтишига *газнинг суюлиши* дейилади. Хлор, карбонат ангидрид, аммиак каби газлар осон суюлтирилган бўлса-да, кислород, азот, водород, гелий каби газларни суюлтириш йўлида қилинган уринишлар узоқ вақтларгача муваффақиятсизликка учраб келди. Кислород ва азот газлари умуман

суюқ ҳолатда бўла олмайди деган фикрлар ҳам пайдо бўлди. Аммо бу уринишларнинг муваффақиятсизликка учраганлигининг сабабини биринчи бўлиб Д. И. Менделеев тушунтириб берди. **Газнинг температураси критик температурадан паст, босими эса критик босимдан юқори бўлсагина уни суюлтириш мумкин.** Бошқача айтганда, газни суюлтиришдан олдин унинг температурасини критик температурагача пасайтириш керак. Газларни суюлтириш учун уларнинг температурасини пасайтириш икки хил усулда амалга оширилиши мумкин: 1) агар газнинг температураси инверсия ва критик температурадан паст бўлса, унда кенгайишда молекулалар орасидаги тортишиш кучларига қарши иш бажариш натижасида газнинг температураси пасаяди; 2) адиабатик кенгайишда ташқи кучларга қарши иш бажариш натижасида, газнинг температураси пасаяди.

Критик температура анча юқори бўлган газларни суюлтириш учун олдин газ қисилади, сўнгра эса совитилади. Шу йўл билан суюқ хлор ($T_{кр}$ = 415,15 K) , аммиак ($T_{кр}$ = 405,55 K) олинади.

Суюқ кислород ($T_{кр}$ = 154,45K), азот ($T_{кр}$ = 126,05 K), водород ($T_{кр}$ = 33,25 K) ва гелий ($T_{кр}$ = 5,25 K) ни олиш учун эса детандер деб номланувчи махсус қурилмадан фойдаланилади. Детандерда газнинг температурасини пасайтиришнинг юқорида келтирилган ҳар иккала усули ҳам қўлланилади. Реактив типдаги энг такомил турбодетандер академик П. Л. Капица томонидан яратилган. Бу қурилмада сиқилган газ турбинани айлантиради ва бир вақтнинг ўзида кенгаяди, яъни ҳам ташқи кучларга қарши, ҳам молекулалараро тортишиш кучларига қарши иш бажаради. Бунда газ кучли совийди ва конденсацияланади.

Суюлтирилган газнинг техникада ишлатилиши. Суюқ ҳавонинг олиниши техника тараққиёти учун муҳим аҳамиятга эга. Унинг таркибида кислороднинг кўплиги ёниш жараёнига катта ёрдам беради. Суюқ ҳаво шимдирилган кўмир кукунининг портлаш кучи динамитникидан қолишмайди. Суюқ ҳаво стратосферага учадиган самолётларнинг ёнилғи аралашмасини бойитиш, домна печларидаги жараёнларни тезлатиш ва ҳоказоларга ишлатилади.

Суюлтирилган газлар температурасида турли моддалар қаттиқ ҳолатга ўтиши мумкин. Масалан, симобга суюқ ҳаво қуйиб қаттиқ симоб олиш мумкин. Суюлтирилган ҳаво спиртли идишга солинса, қаттиқ спирт ҳосил бўлади.

Газларнинг суюлиш температурасида жуда кўп моддаларнинг хоссалари кескин ўзгаради. Мисол учун, симоб ва рух болгаланувчи, пластик металл — қўрғошин эса худди пўлатдек эластик бўлиб қолади.

Суюлган газлар жуда тез буғланади. Уларни сақлаш учун Дьюар махсус идиш ясади. У ораларидаги ҳавоси сўриб олинган иккита ичма-ич жойлашган шиша идишдан иборат бўлиб, идиш ичидаги модданинг ташқи муҳит билан иссиқлик алмашинуви мумкин қадар

камайтирилган. Тушаётган нур қиздирмаслиги учун идиш деворлари ойнадан қилинади. Дьюар идиши кундалик ҳаётимизда маҳсулотни қайноқ сақлаш учун фойдаланиладиган термоснинг ўзгинасидир.

Синов саволлари

1. Газларнинг суюлиши деб нимага айтилади? 2. Газни қачон суюлтириш мумкин? 3. Газларнинг температурасини пасайтиришнинг қандай усуллари мавжуд? 4. Критик температура юқори бўлган газлар қандай совитилади? 5. Детандер нима мақсадда ишлатилади? 6. Реактив турбодетандерни ким кашф қилган? 7. Реактив турбодетандернинг иш принципи. 8. Суюқ ҳаво қаерларда ишлатилади? 9. Қаттиқ симоб, қаттиқ спирт қандай ҳосил қилинади? 10. Газларнинг суюлиш температурасида моддаларнинг хоссалари қандай ўзгаради? 11. Дьюар идишидан нима мақсадда фойдаланилади? 12. Дьюар идиши қандай тузилган?

51- §. Ҳавонинг намлиги. Шудринг нуқтаси

Мазмуни: намлик, абсолют ва нисбий намликлар, шудринг нуқтаси; гигрометр, психрометр.

Намлик. Ер куррасидаги барча сув ҳавзаларининг сиртидан сувнинг тинимсиз буғланиши рўй бериб туради. Шунинг учун ҳам атмосфера таркибида сув буғлари ҳам мавжуд. **Атмосферадаги сув буғларининг миқдорини характерлаш учун намлик тушунчаси киритилади.**

Абсолют ва нисбий намликлар. Абсолют намлик деб — 1 м^3 ҳаво таркибида мавжуд бўлган сув буғларининг миқдори билан характерланувчи катталикка айтилади.

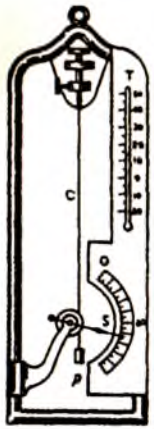
Амалда абсолют намликдан ташқари ҳавонинг буғ билан тўйиниш даражасини билиш ҳам муҳим аҳамиятга эга бўлади. Шу мақсадда нисбий намлик тушунчаси киритилади. Нисбий намлик деб, абсолют намлик $Д$ нинг шу температурада 1м^3 ҳавони тўйинтириш учун зарур бўладиган сув бугларининг миқдори $Д_0$ га фоизларда ифодаланган нисбати билан аниқланувчи катталикка айтилади:

$$f = \frac{Д}{Д_0} \cdot 100\%.$$

Агар ҳавонинг таркибида сув буғлари бўлмаса, унинг абсолют ва нисбий намликлари нолга тенг бўлади.

Шудринг нуқтаси. Ҳаводаги сув буглари тўйинган ҳолатда бўладиган температура *шудринг нуқтаси* дейилади.

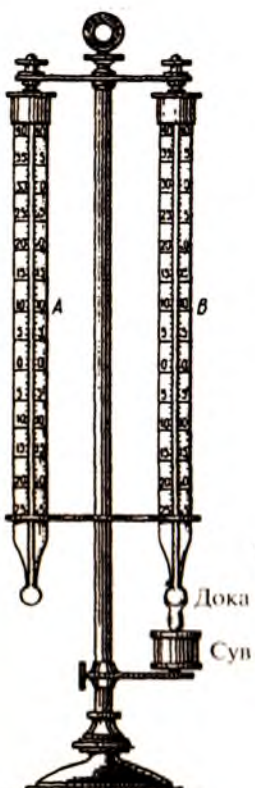
Турли температуралар учун $Д_0$ нинг қиймати жадвалда берилади. Шундай қилиб, шудринг нуқтаси ва ҳавонинг температураси маълум бўлса, жадвалда уларга мос бўлган $Д$ ва $Д_0$ нинг қийматларини олиб, нисбий намлик f ни ҳисоблаш мумкин.



73- расм.

Гигрометр. Ҳавонинг намлигини аниқлаш учун ишлатиладиган асбоб *гигрометр* дейилади. Энг оддий гигрометрнинг иш принципи ҳавонинг намлиги ортиши билан инсон сочининг узайишига асосланган. Соч гигрометрининг тузилиши 73- расмда кўрсатилган. *С* соч толасининг юқори учи маҳкамланиб, енгил блок орқали айлантириб ўтказилган иккинчи учига *Р* юк осилган. Блокка беркитилган *S* кўрсаткич соч узунлигининг ўзгаришини билдиради. Асбобни олдиндан мос оралиқларга бўлиб чиқиб, нисбий намликни бевосита аниқлаш мумкин.

Психрометр. Ҳавонинг намлигини аниқроқ ҳисоблаш учун психрометр дейилгувчи асбобдан фойдаланилади (74- расм). У иккита термометрдан иборат бўлиб, улардан бирининг симобли шари сувли идишга туширилган дока билан ўралган. Дока капиллярларидан кўтарилган сув термометр симобли шарини ҳўллайди. Агар ҳаво сув буғлари билан тўйинмаган бўлса, докадаги сув бугланиб, термометрни совитади. Натижада ҳўлланган термометрнинг кўрсатиши қуруқ термометрнинг кўрсатишидан пастроқ бўлади.



74- расм.

Ҳаво қанчалик қуруқ бўлса, ҳўл ва қуруқ термометрлар кўрсаткичлари орасидаги фарқ ҳам шунчалик катта бўлади. Шу фарққа асосан психрометр жадвалидан ҳавонинг нисбий намлиги аниқланади. Агар ҳаво сув буғлари билан тўйинган бўлса, унда докадаги сув бугланмайди. Термометрларнинг кўрсаткичлари бир хил бўлиб, нисбий намлик 100 % эканлигини кўрсатади. Бундай ҳол ёмғир ёғаётган ва туман тушган пайтда бўлиши мумкин.

Синов саволлари

1. Намлик тушунчаси нима мақсадда киритилади? 2. Абсолют намлик деб нимага айтилади? 3. Нисбий намлик деб нимага айтилади? 4. Шудринг нуқтаси деб қандай температурага айтилади? 5. Гигрометр нима мақсадда ишлатилади? 6. Соч гигрометрининг тузилиши? 7. Соч гигрометрининг иш принципи нимага асосланган? 8. Психрометрдан нима мақсадда фойдаланилади? 9. Пси-

хрометр қандай тузилган? 10. Психрометрнинг иш принципи. 11. Қачон ҳўл термометрнинг кўрсатиши қуруқ термометрникидан пастроқ бўлади? 12. Қачон термометрлар кўрсатишлари орасидаги фарқ каттароқ бўлади? 13. Психрометр жадвали нимани кўрсатади? 14.Термометрларнинг кўрсатишлари бир хил бўлса, нисбий намлик қандай бўлади? 15. Туман тушганда нисбий намлик нимага тенг бўлади?

52- §. Атмосфера ва гидросфера. Сайёраларнинг атмосфераси

Мазмуни: атмосфера; тропосфера; стратосфера; мезосфера; термосфера; экзосфера; Венера атмосфераси; бошқа сайёралар атмосфераси; гидросфера; жаҳон океанининг ҳаёт учун аҳамияти.

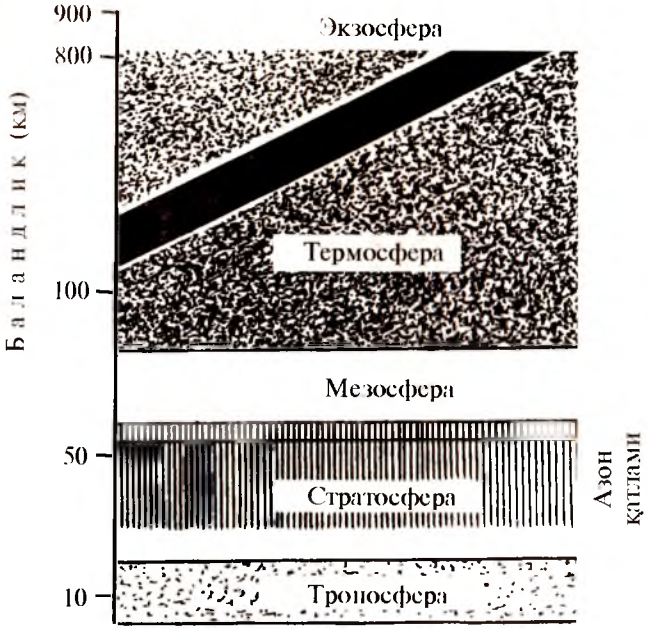
Атмосфера. Ернинг ҳаво қобиғига атмосфера дейилиб, у юнонча "атмос" — буғ, "сфера" — шар сўзлари бирикмасидан иборат. Атмосфера Ер билан биргаликда бир бутундек айланади.Унинг массаси $5,15 \cdot 10^8$кг атрофида. Ер сиртидаги атмосфера таркибининг 78,1 % ини азот, 21 % ини кислород, 0,9 % ини аргон ташкил қилади. Жуда кам миқдорда карбонат ангидрид, водород, гелий, неон ва бошқа хил газлар мавжуд. 20 — 25 км баландликда ердаги жонли организмларни қисқа тўлқинли космик нурларнинг зарарли таъсиридан асровчи озон қатлами жойлашган.

Атмосферанинг қуйи қатламларида сув буғлари ҳам мавжуд. 100 км дан юқорида атмосферанинг таркиби баландликка қараб ўзгара бошлайди. Атмосферанинг юқори қисмини асосан гелий ва водород ташкил қилади. Баландликка кўтарилган сари атмосферанинг зичлиги ва босими камая боради. Атмосферанинг мавжудлиги иссиқлик балансида муҳим роль ўйнайди. Унинг таркибидаги сув буғлари ва карбонат ангидрид иссиқлик нурларини ютиб, Ерни совишдан сақлайди. Бошқача айтганда, атмосфера парник (иссиқхона) эффектини вужудга келтириб, температуранинг суткалик ва мавсумий ўзгаришини кичрайтиради. Агар атмосфера бўлмаганда эди Ернинг қуёш нурлари тушадиган томони чўғдек қизиб, тушмайдиган томони эса музлаб ётган ва Ерда ҳаёт бўлмаган бўлар эди.

Атмосфера тропосфера, стратосфера, мезосфера, термосфера ва экзосфераларга бўлинади (75- расм).

Тропосфера. Атмосферанинг асосий массасини тропосфера дейилгувчи Ер атрофидаги ҳаво қатлами ташкил қилади. Унинг баландлиги қутб кенгликларида 10 км, экваториал кенгликларда эса 17км ни ташкил қилади.

Ер об-ҳавосининг ўзгаришига олиб келувчи барча ўзгаришлар тропосферада рўй беради. Бунда сувнинг буғланиши ва конденсацияси муҳим аҳамият касб этади. Турли сув ҳавзаларининг сиртидан суткасига $7 \cdot 10^{12}$ м^3 сув буғланиб, шунча сув ёғингарчилик кўринишида қайтиб тушади. Шунинг учун ҳам атмосферадаги сув буғларининг ўртача миқдори қарийб ўзгармай сақланади.



75- расм.

Ер сиртида ҳосил бўлган сув буғлари ҳаво қатламларининг иссиқлик ҳаракатига эргашади. 1,5 — 2 км баландликка кўтарилган буғлар тўйинган ҳолатга келиб конденсацияланади. Кўтарилаётган ҳаво қатлами тутиб турган томчилардан булутлар ҳосил бўлади. Булут томчиларининг ўлчамлари 0,01 мм атрофида бўлади. Булутларнинг зичлашуви натижасида томчиларнинг ўлчамлари 1 —5 мм гача ортади. Бундай томчиларни булутлар тутиб тура олмайди ва натижада ёзда ёмгир, қишда қор ёғади. Буғнинг конденсацияланиши ва булутларнинг ҳосил бўлиши натижасида иссиқлик миқдорининг ажралиши рўй беради. Шунинг учун ҳам бу жараёнлар қуйи тропосферанинг энергетик ҳолатига маълум таъсир кўрсатади. Лекин тропосфера иссиқликни, асосан, Ер сиртидан олади. Юқорига кўтарилган сари тропосферанинг температураси ҳар 100 метрга 1*K* дан пасайиб боради. Тропосферанинг юқори қатламида температуранинг пасайиши секинлашиб, 2 км га яқин қатламда температура қарийб доимий қолади.

Стратосфера. Тропосферадан юқорида стратосфера жойлашган. Стратосферада температура кўтарилиб боради. У стратосферанинг қуйи чегарасида 200 — 210 *K* ни ташкил қилса, юқори чегарасида 280 *K* атрофида бўлади. Стратосферанинг баландлиги 50 — 55 км гача бўлиб, босимнинг ўртача қиймати эса 1000 Па ни ташкил қилади.

Мезосфера. Стратосферадан юқорида мезосфера жойлашган. У 80 км баландликкача давом этади. Ундаги температура юқорига кўтарилган сари камайиб боради ва юқори чегарасида 160 *K* атрофида бўлади.

Термосфера. Атмосферанинг кейинги қатлами бўлмиш термосферада температура янада ортиб боради. 600 км баландликда температура 1700 *К*, кечаси 1200 *К* ни ташкил қилади. Ернинг сунъий йўлдошлари ва космик кемалар айнан шу баландликларда ҳаракатланишади.Термосферадаги босим жуда паст, 10 Па атрофида, газ концентрацияси эса жуда кичик бўлганлиги учун ҳам юқори температура йўлдошлар ва космик кемаларнинг сиртларини қаттиқ қизита олмайди.

Экзосфера. 800 км баландликдан бошлаб атмосферанинг юқори қатлами — экзосфера жойлашган. Экзосфера сайёралараро бўшлиққа туташиб кетади.

Венера атмосфераси. Венера (Зуҳра) атмосферасининг таркиби Ерникидан кескин фарқ қилади. Унинг 97 % ини карбонат ангидрид, 2 % ини азот, 1 % ини кислород ташкил этади. Венера атмосферасининг бундай таркиби ва катта зичлиги (сиртидаги босим 100 атм гача етади) парник эффектини кучайтиради. Гарчи Венера атмосферасининг асосий қисмини карбонат ангидрид ташкил қилсада, Венерадаги ва Ердаги карбонат ангидриднинг умумий миқдори қарийб бир хил. Карбонат ангидрид Ерда турли хил тоғ жинслари таркибида бўлса, Венерада атмосфера таркибига киради.

Ердан бошқа барча сайёралар атмосфералари таркибида кислород миқдорининг камлиги, Ерда ўсимлик дунёси тараққий топганининг натижасидир.

Бошқа сайёралар атмосфераси. Марс атмосферасининг таркибида карбонат ангидрит ва сув буғлари топилган. Унинг босими 1000 Па дан ошмайди. Меркурий атмосферасида ҳам карбонат ангидрид мавжуд. Лекин Меркурий сиртидаги температура 620 *К* гача етишини ҳисобга олсак, унда сайёранинг атмосфераси амалда йўқлигига ишонч ҳосил қиламиз.

Улкан сайёралар (Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун, Плутон) атмосфераларининг асосий қисмини водород, аммиак, метан, гелий ташкил қилади. Бунга сабаб газ ва чанг булутларидан Қуёш системасининг пайдо бўлишида, водород ва гелий чеккага чиқиб, оғирроқ элементларнинг Қуёшга яқинроқ жойда қолганлигидир.

Гидросфера. Ернинг сув қобиғи гидросфера дейилиб, у атмосферадан фарқли ўлароқ, Ер сиртини тўла эмас, балки 70,8 % инигина қоплайди. Ернинг сув қобиғига нафақат океанлар ва денгизларнинг сувлари эмас, балки дарёлар, кўллар, ер ости сувлари, музликлар ҳам киради. Қитъалар ва ороллар гидросферани океанлар, денгизлар, кўрфазлар, бўғозларга ажратади.

Ер сиртидаги сув миқдорининг энг кўп тўпланган жойи океанлар бўлиб, улар гидросферанинг 94% ини ташкил қилади. Жаҳон океанининг ҳажми $1{,}37 \cdot 10^{18}$ м^3 га тенг. Унинг сиртидан ҳар йили $4{,}5 \cdot 10^{14}$ м^3 сув буғланиб, қарийб шунча сувни дарёлар океанларга қайтаради. Океанларнинг суви тўла буғланиши учун 3000 йил керак бўлади, яъни океан сувлари 3000 йилда бир марта янгиланади. Хулди

шунингдек, дарёларнинг сувлари ҳам 10 — 12 суткада бир марта янгиланиб туради. Ердаги барча сув массаси тинимсиз ҳаракат ва айланишда бўлади. Сув, океан ва қуруқлик сиртидан буғланиб, атмосфера таркибидаги намлик захирасини яратиб турса, ўз навбатида қор, ёмгирлар океан ва қуруқликка сувни қайтаради.

Жаҳон океанининг ҳаёт учун аҳамияти. Жаҳон океанида вужудга келган ўсимликлар атмосферани кислород билан бойитди ва турли ҳайвонлар яшашига шароит вужудга келтирди. Сувни водород ва кислородга ажратадиган океанлардаги ўсимликлар дунёси ҳозиргача атмосферадаги эркин кислороднинг асосий манбаи бўлиб қолмоқда. Океан, атмосфера ва қуруқлик ўртасида узлуксиз модда алмашинуви рўй бериб туради. Гидросфера сиртидан буғланадиган намлик шамол ёрдамида материкка учиб боради ва ёғингарчилик бўлиб ерни суғоради.

Табиий сувлар таркибида эриган ҳолатда турли газлар, асосан, азот, кислород ва карбонат ангидрид мавжуд. Атмосферадан сувга ўтадиган карбонат ангидрид ўсимликлардаги фотосинтезда ишлатилади. Ҳайвонлар ва ўсимликлардан иборат организмлар дунёси бир йилда карбонат ангидриддан 100 млрд тонна углеродни ажратиб олади. Океанда атмосферадагига нисбатан 60 марта кўп карбонат ангидрид мавжуд.

Маълумки, сувнинг иссиқлик сиғими анча катта, 1 $м^3$ сувнинг 1 К га совишда ажралиб чиқадиган иссиқлик миқдори 3300 $м^3$ ҳавони 1 К га қизита олади. Шунинг учун ҳам океанлар ва денгизлар қуёш иссиқлигини сақловчи ва сайёрамиз сирти бўйлаб тақсимловчи вазифасини бажаради.

Синов саволлари

1. Атмосфера деб нимага айтилади ва у қандай маънони англатади? 2. Атмосферанинг массаси қанча? У ҳаракатдами ёки тинчликдами? 3. Атмосферанинг таркиби. 4. Озон қатлами қандай баландликда жойлашган ва у қандай вазифани бажаради? 5. Атмосферанинг иссиқлик балансидаги аҳамияти. 6. Ердаги температура ўзгаришининг кичиклигига сабаб нима? 7. Атмосфера қандай қатламларга бўлинади? 8. Тропосфера қандай қатлам ва унинг баландлиги нимага тенг? 9. Бир суткада сув ҳавзаларидан қанча сув буғланади? 10. Сув буғлари қандай баландликда конденсацияланади? 11. Булутлар қандай ҳосил бўлади? 12. Юқорига кўтарилган сари температура қандай ўзгаради? 13. Стратосфера қаерда жойлашган ва унда температура қандай ўзгаради? 14. Стратосфера қандай баландликкача давом этади? 15. Мезосфера қаерда жойлашган? Унинг баландлиги ва унда температуранинг ўзгариши. 16. Термосферада температура қандай ўзгаради? 17. Сунъий йўлдошлар ва космик кемалар ҳаракатланиши учун термосферанинг танланишига сабаб нима? 18. Экзосфера қандай баландликлардан бошланади? 19. Венераниг атмосфераси Ерникидан нимаси билан фарқ қилади? 20. Ер атмосфераси таркибида кислороднинг

кўплигига сабаб нима? 21. Бошқа сайёралар атмосфераси ҳақида нималарни биласиз? 22. Гидросфера деб нимага айтилади? У ер сиртининг қанча қисмини қоплайди? 23. Жаҳон океанининг ҳажми қанча ва ундан бир йилда қанча сув буғланади? 24. Атмосферадаги эркин кислороднинг асосий манбаи нима? 25. Океанлар ва денгизларнинг Ердаги иссиқлик балансини сақлашдаги аҳамияти?

53- §. Қайнаш. Буғ ҳосил бўлиши ва конденсациясида иссиқлик балаиси тенгламаси

Мазмуни: қайнаш; қайнаш температурасининг босимга боғлиқлиги; солиштирма буғ ҳосил бўлиш иссиқлиги; конденсацияланиш иссиқлик баланси тенгламаси.

Қайнаш. Қайнаш деб, суюқликнинг ҳам сирти, ҳам бутун ҳажми бўйлаб буғ пуфакчаларининг жадал ҳосил бўлиши билан буғга айланиш жараёнига айтилади. Демак қайнаш суюқликнинг буғга айланишининг хусусий ҳолидир.

Энди очиқ идишдаги суюқликни қиздирайлик. Ҳар қандай суюқликда ҳам маълум миқдорда эриган газ мавжуд бўлади. Температура ортиши билан газ суюқликдан ажралади ва идишнинг ички деворларига кичик пуфакчалар кўринишида ёпишиб қолади. Температура кўтарилган сари пуфакчаларнинг ўлчамлари орта борали ва суюқлик сиртига қалқиб чиқа бошлайди.

Суюқликнинг юқори, кам қиздирилган қатламларига кўтарилган пуфакчаларнинг ҳажми, сув бугларининг пуфак ичидаги коденсацияси туфайли кичрая боради. (76- *а* расм).

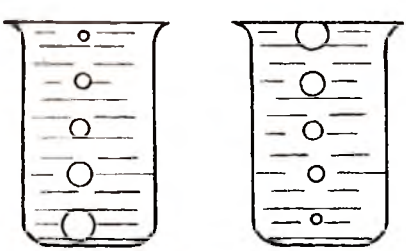
Суюқликнинг температураси тенглашганда пуфакча ҳажми кўтарилиш давомида катталашади. Бунга сабаб пуфакча ичидаги тўйинган буғнинг босими $p_1 = nkT$ ўзгармай қолган бир пайтда гидростатик босим $p_2 = \rho gh$ нинг камайиши.

Катталашиб бораётган пуфакчанинг ичи тўйинтирувчи бугга тўла бўлади, чунки температура ўзгармас бўлганда тўйинтирувчи бугнинг босими ҳажмга боғлиқ бўлмайди.

Пуфакча суюқлик сиртига етганда ундаги тўйинтирувчи буғнинг босими амалда суюқлик сиртидаги атмосфера босимига тенг бўлади.

Пуфакчани тўлдириб турган тўйинтирувчи буғ атмосферага чиқарилади (76- *б* расм). Қайнаш рўй беради.

Суюқлик тўйинтирувчи буғининг босими ташқи босимга тенг бўлганда, қайнаш жараёни бутун суюқлик бўйлаб бир хил температурада рўй беради.



а) *б)*

76- расм.

Нормал шароитда ҳар бир суюқлик тўйинтирувчи буғининг босими унинг сиртидаги ташқи босимга тенг бўладиган маълум бир температурада қайнайди.

Бу температура қайнаш температураси дейилади.

Қайнаш температурасининг босимга боглиқлиги. Агар суюқлик сиртидаги босим кичикроқ бўлса, унда қайнаш пайтида унга тенг бўладиган суюқлик тўйинтирувчи буғининг босими ҳам пастроқ бўлади. Демак, қайнаш температураси ҳам пастроқ бўлади. Шундай қилиб, **қайнаш температураси ташқи босимга боғлиқ** бўлади деган хулосага келамиз. Ташқи босим қанча паст бўлса, суюқликнинг қайнаш **температураси** ҳам шунча паст бўлади. Атмосфера босими паст бўлган тоғ чўққиларида сувнинг денгиз сатҳидагидан кўра пастроқ **температураларда** қайнаши хулосамизнинг яққол исботидир. Атмосфера босими анча юқори 15 атм ($15 \cdot 10^5$ Па бўлган буғ машиналарининг қозонларида сувнинг қайнаш **температураси** 200° С (473 К) га яқин бўлади.

Солиштирма буғ ҳосил бўлиш иссиқлиги. Қайнаш жараёнида суюқликка бериладиган иссиқлик миқдори, асосан, қуйидагиларга сарфланади:

1) буғ пуфаклари ҳосил бўлишида ва ҳаракатланишида ташқи босимга қарши иш бажариш;

2) суюқликнинг буғланиши натижасида йўқотиладиган иссиқликнинг ўрнини тўлдириш.

Бир хил температурадаги турли хил суюқликларнинг бир хил миқдорини буғга айлантириш учун қанча иссиқлик миқдори сарфланади? Температураси турлича бўлган бир хил суюқликнинг бир хил миқдорини-чи? Табиийки, ҳар иккала ҳолда ҳам турлича иссиқлик миқдори сарфланади. Бу хулосани ойдинлаштириш учун солиштирма буғ ҳосил бўлиш иссиқлиги тушунчаси киритилади.

Солиштирма буғ ҳосил бўлиш иссиқлиги *r* деб, 1 кг моддани суюқ ҳолатдан буғ ҳолатига ўтказиш учун сарфланадиган иссиқлик миқдорига айтилади.

m массали суюқликни буғга айлантириш учун сарфланадиган иссиқлик миқдори Q қуйидагича аниқланади:

$$Q = rm. \qquad (53.1)$$

Бундан

$$r = \frac{Q}{m}. \qquad (53.2)$$

(59.2) солиштирма буғ ҳосил бўлиш иссиқлиги r нинг СИ даги бирлигини топишга имкон беради:

$$[r] = \frac{[Q]}{[m]} = \frac{1\text{Ж}}{1\text{кг}} = 1\,\frac{\text{Ж}}{\text{кг}}.$$

Энергиянинг сақланиш қонунига мувофиқ m массали буғнинг суюқликка айланишида (коденсацияланишда) ҳам (53.1) га тенг иссиқлик миқдори ажралиб чиқади.

Солиштирма буғ ҳосил бўлиш иссиқлиги температурага боғлиқ бўлиб, температура пасайиши билан катталаша боради. Бунга сабаб, паст температурали суюқлик молекулаларининг энергияси камлиги натижасида уларнинг суюқлик сиртидан узилиб чиқа олиш қобилиятига эга бўла олиши учун катта миқдордаги иссиқликнинг талаб қилинишидир.

Синов саволлари

1. Қайнаш деб нимага айтилади? 2. Нега дастлаб сув буғларининг пуфакчалари юқорига кўтарилган сари кичрая боради? 3. Қачон кўтарилган сари пуфакчалар катталаша боради? 4. Кўтарилган сари пуфакчанинг катталашишига сабаб нима? 5. Катталашиб бораётган пуфакчанинг ичида нима бор? 6. Қайнаш жараёни бутун суюқлик бўйлаб бир хил температурада рўй бериши учун қандай шарт бажарилиши керак? 7. Суюқлик қачон қайнайди? 8. Қайнаш температураси деб қандай температурага айтилади? 9. Қайнаш температураси ташқи босимга боғлиқми? 10. Нима учун ташқи босим паст бўлганда суюқликнинг қайнаш температураси ҳам паст бўлади? 11. Нима учун тоғ чўққиларида қайнаш температураси паст бўлади? 12. Нима учун буғ қозонида қайнаш температураси юқори бўлади? 13. Қайнаш жараёнида суюқликка бериладига иссиқлик миқдори нималарга сарфланади? 14. Солиштирма буғ ҳосил бўлиш иссиқлиги тушунчаси нима учун киритилади? 15. Солиштирма буғ ҳосил бўлиш иссиқлиги деб нимага айтилади? 16. Солиштирма буғ ҳосил бўлиш иссиқлигининг СИ даги бирлиги. 17. Буғ ҳосил бўлишида сарфланган иссиқлик миқдори конденсацияланганда ажралиб чиқадиган иссиқлик миқдорига тенг бўладими? 18. Солиштирма буғ ҳосил бўлиш иссиқлиги температурага боғлиқми? 19. Солиштирма буғ ҳосил бўлиш иссиқлигининг температурага боғлиқлигини қандай тушунтирасиз?

54- §. Суюқликнинг хоссалари. Сирт таранглиги. Сирт қатлами энергияси

М а з м у н и: модданинг суюқ ҳолати; суюқликнинг тузилиши; молекуляр босим; сирт таранглиги; сирт қатлами энергияси.

Модданинг суюқ ҳолати. Суюқлик модданинг газ ва қаттиқ жисм оралиғидаги агрегат ҳолатидир. Шунинг учун ҳам унинг баъзи хоссалари газникига, баъзилари эса қаттиқ жисмларникига ўхшаб кетади. У худди қаттиқ жисмларга ўхшаб маълум ҳажмга эга бўлса, худди газлардек ўзи қуйилган идишнинг шаклини эгаллайди. Газ молекулалари амалда бир-бирлари билан боғланмаган бўлса, суюқлик молекулалари бир-бирлари билан жуда кучли боғланган ва маълум масофада жойлашган бўлади.

Суюқликларда ва қаттиқ жисмларда молекулаларнинг бетартиб ҳаракат иссиқлик энергияси молекулалараро ўзаро таъсир потенциал энергиясидан жуда кичик бўлиб, уни енга олмайди. Шунинг учун ҳам суюқлик ва қаттиқ жисмлар аниқ ҳажмга эга бўлади. Суюқлик молекулалари орасидаги ўзаро таъсир кучининг катталиги натижасида суюқлик амалда сиқилмайди. Бошқача айтганда, жуда катта молекулалараро таъсир кучига эга бўлган суюқликка ташқи босим таъсири сезилмайди. Шунинг учун ҳам молекулалараро таъсир кучини суюқликнинг молекуляр босими деб айтилади. Ҳисоблаш сувнинг молекуляр босими 1100 МПа атрофида эканлигини кўрсатади. Шу билан бирга, суюқлик молекулалари жуда яхши ўрин алмашиниш хусусиятига, яъни суюқлик оқиш ва ўзи солинган идиш шаклини эгаллаш қобилиятига эга бўлади. Агар суюқлик мувозанат ҳолатида бўлса, унинг молекулалари бирор мувозанат ҳолати атрофида тебранма ҳаракат қилади. Бу ҳолда тортишиш ва итариш кучлари бир-бири билан тенг бўлади.

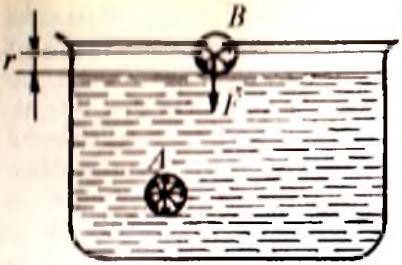
Суюқликнинг тузилиши. Суюқликларни рентген нурлари ёрдамида ўрганиш уларнинг молекуляр тузилишида қаттиқ жисмларнинг молекуляр тузилишига ўхшаш жойлари борлигини кўрсатди. Агар қаттиқ жисмларда молекулаларнинг анча катта масофада ҳам батартиб жойлашуви кузатилса, суюқликларда жуда кичик, атомлараро масофалардагина батартиб жойлашуви кузатилади.

Ўз изланишларини суюқликларнинг хоссаларини ўрганишга бағишлаган Я. Френкель (1884 — 1952) қуйидаги назарияни яратди. Френкель назариясига кўра, суюқлик молекуласи маълум вақт давомида ўз мувозанат ҳолати атрофида, гўёки кристалл панжаранинг тугунида тургандек тебраниб туради ва сўнгра сакраб олдингисидан атомлараро масофада бўлган янги ҳолатга (янги тугунга) ўтади. Молекулаларнинг бирор ҳолатда бўлиш вақти жуда кичик, 10^{-10} — 10^{-1} с ни ташкил этади.

Демак, содда қилиб, суюқлик молекуласининг бир ҳолатдан иккинчисига ўтишини панжаранинг бир тугунидан иккинчисига ўтиш, кўчиш масофасини эса панжара доимийси сифатида қараш мумкин. Панжара тугунида турган молекула панжара доимийсидан кичикроқ амплитудалар билан тебранма ҳаракат қилади. Шунга асосланиб, суюқлик квазикристалл (гўёки кристаллдек) тузилишга эга деб ҳисоблаш мумкин.

Молекуляр босим. Суюқликнинг ҳар бир молекуласига уни ўраб турган молекулалар томонидан тортишиш кучлари таъсир кўрсатади (77- расм). Бу кучлар жуда тез камайиб, уларни маълум масофадан бошлаб ҳисобга олмаслик ҳам мумкин. Бу масофа молекуляр таъсир радиуси (r) дейилади. У 10^{-9} м атрофида бўлади. r радиусли доира эса молекуляр таъсир доираси дейилади.

Суюқлик ичидаги бирор A молекулани ажратиб олайлик (77- расм) ва унинг атрофида r радиусли молекуляр таъсир доирасини чизайлик.



77- расм.

A молекулага молекуляр таъсир доираси ичидаги молекулаларнигина таъсирини ҳисобга олиш етарли. Бу молекулаларнинг A молекулага таъсир кучлари турли томонларга йўналган ва бир-бирларини компенсациялайди.

Шундай қилиб, суюқлик ичидаги молекулага бошқа молекулалар томонидан таъсир этаётган кучларнинг тенг таъсир этувчиси нолга тенг бўлади. Агар молекула B суюқлик сиртидан r дан кичикроқ масофада жойлашган бўлса, унда кучларнинг тенг таъсир этувчиси нолга тенг бўлмайди. 77- расмда кўриниб турибдики, B молекуланинг юқорисида молекулалар бўлмаганлиги учун тенг таъсир этувчи куч $\vec{F}$ суюқлик ичига йўналган бўлади. Шундай қилиб, суюқлик сиртида жойлашган, яъни сирт қатлами молекулаларнинг тенг таъсир этувчи кучлари суюқликка босим кўрсатади ёки суюқликни сиқади. **Бу босим молекуляр ёки ички босим дейилади**. Молекуляр босим суюқлик молекулалари ўзаро таъсир кучларининг натижаси бўлганлиги учун суюқликка ботирилган жисмга таъсир этмайди. Ички босим температурага боғлиқ бўлиб, температура ортиши билан ички босим камаяди.

Сирт таранглиги. Шундай қилиб, суюқлик сиртидаги қатламда жойлашган молекулаларга, яъни сирт қатламига таъсир этадиган кучлар суюқлик сиртини таранглаштиради. Шунинг учун ҳам бу кучлар сирт таранглик кучлари дейилади. Сирт таранглик кучлари суюқликнинг эркин сиртини қисқартиришга мажбур қилади. Сирт таранглиги қуйидагича аниқланади.

$$\alpha = \frac{F}{l}. \qquad (54.1)$$

Сирт таранглиги деб сиртни ўраб турган контурнинг бирлик узунлигига таъсир этувчи сирт таранглик кучига айтилади.

Сирт таранглигининг СИ даги бирлиги

$$[\alpha] = \frac{[F]}{[l]} = 1\,\frac{\text{Н}}{\text{м}}.$$

Жуда кўп суюқликларнинг сирт таранглиги 300 К да 10^{-2} — 10^{-1} Н/м атрофида бўлади. Сирт таранглиги температурага боғлиқдир. Суюқликнинг температураси кўтарилиши билан молекулалари орасидаги ўртача масофа ортади, ўзаро тортишиш кучлари камаяди ва демак, сирт таранглиги ҳам камаяди.

Сирт таранглиги суюқлик таркибидаги аралашмаларга жуда ҳам боғлиқ. Суюқликнинг сирт таранглигини камайтирувчи моддалар сирт-актив моддалар дейилади. Сув учун сирт-актив модда совундир.

У сувнинг сирт таранглигини $7{,}5 \cdot 10^{-2}$ Н/м дан $4{,}5 \cdot 10^{-2}$ Н/м гача камайтиради. Шунингдек, спирт, эфир, нефть ҳам сувнинг сирт таранглигини камайтирувчи моддалар ҳисобланади. Шундай моддалар мавжудки, уларнинг молекулалари суюқлик молекулалари билан, суюқлик молекулаларининг ўзаро таъсиридан кўра кучлироқ таъсирлашади. Бундай моддалар суюқликнинг сирт таранглигини орттиради. Бундай моддаларга шакар, туз ва бошқалар киради. Масалан, совунли сувга туз солинса, унда совун тоза сувникидан кўпроқ сирт қатламига сиқиб чиқарилади. Совун ишлаб чиқаришда совун шу усул билан совун эритмасидан ажратиб олинади.

Сирт қатлами энергияси. Суюқлик молекуласининг тўла энергияси унинг бетартиб ҳаракат иссиқлик энергияси ва молекулалараро ўзаро таъсир потенциал энергияларининг йигиндисидан иборатдир. Молекулани суюқлик ичидан сирт қатламига кўчириш учун маълум иш бажариш керак. Бу молекулаларнинг кинетик энергиялари ҳисобига бажарилади ва унинг потенциал энергиясининг ортишига олиб келади. Шунинг учун ҳам сирт қатламидаги молекулалар суюқлик ичидаги молекулаларга нисбатан кўпроқ потенциал энергияга эга бўлади. **Суюқликнинг сирт қатламидаги молекулалар энергияси сирт қатлами энергияси дейилади. Сирт қатлами энергияси шу қатламни вужудга келтириш учун сарфланадиган иш билан аниқланади**. Табиийки, сирт қатламининг юзаси қанча катта бўлса, уни вужудга келтириш учун ҳам шунча кўп иш бажарилади:

$$\Delta A = \alpha \cdot \Delta S. \qquad (54.2)$$

Бундан

$$\alpha = \frac{\Delta A}{\Delta S}. \qquad (54.3)$$

Демак, сирт таранглиги α ўзгармас температурада суюқлик сиртида қатлам ҳосил қилиш учун бажариладиган иш ΔA нинг шу сирт қатлами юзаси ΔS га нисбати билан аниқланадиган катталикдир.

Агар сирт қатламини вужудга келтириш учун бажариладиган иш ΔA сирт қатлами энергияси ΔE га тенглигини ($\Delta A = \Delta E$) ҳисобга олсак, (60.3) ни қуйидагича ёзамиз:

$$\alpha = \frac{\Delta E}{\Delta S}. \qquad (60.4)$$

(60.4) дан сирт таранглиги сирт энергиясининг зичлиги каби аниқланиши кўриниб турибди.

Синов саволлари

1. Суюқлик модданинг қандай ҳолати. 2. Суюқликнинг қандай хусусиятлари газларникига ўхшайди? 3. Суюқликнинг қандай хусусиятлари қаттиқ жисмникига ўхшайди? 4. Суюқлик сиқиладими? 5. Суюқликнинг

молекуляр босими деб нимага айтилади ? 6. Суюқликнинг оқиш ва идиш шаклини олиш қобилияти қандай тушунтирилади? 7.Суюқлик молекулалари қандай ҳаракат қилади? 8. Суюқлик қандай тузилишга эга? 9. Суюқликнинг хоссалари ҳақида Френкель назарияси. 10. Молекуляр таъсир доираси деб қандай масофага айтилади ва у нимага тенг? 11. Суюқлик ичидаги молекулага таъсир этадиган кучларнинг тенг таъсир этувчиси қандай бўлади? 12. Суюқлик сиртида жойлашган молекулага-чи? 13. Суюқлик сиртида жойлашган молекулалар тенг таъсир этувчи кучлари суюқликка қандай таъсир кўрсатади? 14. Молекуляр ёки ички босим деб нимага айтилади? 15. Молекуляр босим суюқликка ботирилган жисмга таъсир кўрсатадими? 16. Молекуляр босим температурага боғлиқми? 17. Сирт таранглик кучлари деб қандай кучларга айтилади? 18. Сирт таранглик кучлари суюқлик сиртини қандай ўзгартиради ? 19. Сирт таранглиги деб нимага айтилади ва унинг СИ даги бирлиги қандай? 20. Сирт таранглиги температурага боглиқми ва уни қандай тушунтириш мумкин? 21. Сирт-актив моддалар деб қандай моддаларга айтилади? 22. Совун ишлаб чиқаришда совун қандай қилиб эритмадан ажратиб олинади? 23. Суюқлик молекуласининг тўла энергияси нимага тенг? 24. Суюқлик сиртидаги молекулаларнинг потенциал энергияси каттами ёки суюқлик ичидагими? 25.Сирт қатлами энергияси деб қандай энергияга айтилади? 26. Сирт қатлами энергияси сирт қатлами юзасига боғлиқми? 27. Сирт таранглиги нимага тенг? 28. Сирт энергиясининг зичлиги сирт таранглигига боғлиқми?

55- §. Ҳўллаш. Эгри сирт остидаги босим. Капиллярлик

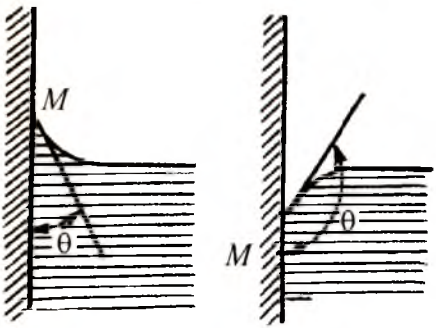
Мазмуни: ҳўллаш; эгри сирт остидаги босим; капиллярлик; капиллярликнинг аҳамияти.

Ҳўллаш. Суюқлик қаттиқ жисмни ҳўллаши ёки ҳўлламаслиги мумкин. Агар симоб томчиси тоза темир сиртига қуйилса, ёйилиб 78- *а* расмдагидек кўринишни олади. Бунда, симоб темирни ҳўллади дейилади.

Энди симоб томчисини шиша пластинка устига қўйсак, томчи шар шаклига интилиб, 78- б расмдагидек кўринишни олади. Бунда симоб шиша пластинкани ҳўлламади дейилади. Суюқликнинг қаттиқ жисмни ҳўллаш-ҳўлламаслиги моддаларнинг бир-бирига тегиб турган қатламларидаги молекулалари орасида вужудга келадиган таъсир характерига боғлиқ. Агар қаттиқ жисм ва суюқлик молекулалари орасидаги тортишиш кучи, суюқликнинг ўзининг молекулалари орасидаги тортишиш кучидан катта бўлса, унда суюқлик қаттиқ жисмни ҳўллайди. Бунда суюқлик қаттиқ жисм сиртида кенгроқ ёйилишга ҳаракат қилади (симоб-темир). Агар қаттиқ жисм ва суюқлик молекулалари орасидаги тортишиш кучи, суюқликнинг ўзининг молекулалари орасидаги тортишиш кучидан кичик бўлса, унда

а) *б)*

78- расм.



а) *б)*

79- расм.

суюқлик қаттиқ жисмни ҳўлламайди. Бунда суюқлик қаттиқ жисмга тегиб турган сиртини камайтиришга ҳаракат қилади (симоб — шиша).

Эгри сирт остидаги босим. Агар суюқлик ингичка найчага қуйилса, унинг девори ёнида суюқлик сиртининг эгриланиши рўй беради. Сиртнинг бу эгриланиши мениск дейилади. Агар суюқлик қаттиқ жисмни ҳўлласа, найча девори ёнида суюқликнинг кўтарилиши рўй беради ва мениск ботиқ бўлади (79- *а* расм). Агар суюқлик қаттиқ жисмни ҳўлламаса, найча девори ёнида суюқликнинг пасайиши рўй беради ва мениск қаварик бўлади (79- *б* расм).

Демак, ҳўллайдиган суюқлик учун мениск — ботиқ, ҳўлламайдиган суюқлик учун эса қаварик бўлади. Капилляр дейилгувчи ингичка найча ҳолида мениск яхши кузатилади. Агар суюқлик солинган идишга капилляр туширилса ва суюқлик капилляр деворини ҳўлласа, унда суюқлик капилляр бўйлаб h баландликка кўтарилади (80- *а* расм).

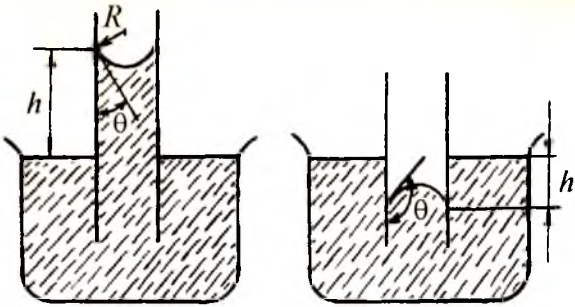
Агар суюқлик капилляр деворини ҳўлламаса, унда суюқлик сатҳи h га пасаяди. Бунга сабаб, суюқлик сиртининг эгриланиши ва қўшимча босимнинг вужудга келишидир. Бу босим (80- *б* расм)

$$\Delta p = \frac{2\alpha}{R} \qquad (55.1)$$

ифода ёрдамида аниқланади. Бу ерда α — суюқликнинг сирт таранглиги, R — сиртнинг эгрилик радиуси.

Агар суюқлик сирти ботиқ бўлса, қўшимча босим манфий бўлади ва суюқлик капилляр бўйлаб юқорига кўтарилади. Чунки кенг идишдаги суюқлик сиртига қўшимча босим таъсир қилмайди (80- *а* расм). Агар суюқлик сирти қаварик бўлса, қўшимча босим мусбат бўлади ва у суюқликни капилляр бўйлаб пасайишига олиб келади (80- *б* расм).

Капиллярлик. Капиллярда суюқлик сатҳи баландлигининг ўзгариш ҳодисасига капиллярлик дейилади. Капиллярдаги суюқлик h баландликка кўтарилган суюқлик устунининг гидростатик босими $p_г = \rho gh$ қўшимча босим Δp га тенг бўлгунча (80- *а* расм) сатҳини ўзгартиради, яъни



а) *б)* **80- расм.**

$$\frac{2\alpha}{R} = \rho g h . \qquad (55.2)$$

Бу ерда ρ — суюқликнинг зичлиги, g — эркин тушиш тезланиши. (55.2) дан h ни топамиз:

$$h = \frac{2\alpha}{\rho \cdot g \cdot R} . \qquad (55.3)$$

(55.3) ифодадан кўриниб турибдики, капиллярдаги суюқлик сатҳининг кўтарилиши (пасайиши) унинг радиусига тескари пропорционал. Ингичка капиллярларда суюқлик анча катта баландликка кўтарилади. Мисол учун, тўла ҳўлланиш бўлганда сув ($\rho = 1000$кг/м^3, $\alpha = 0{,}073$ Н/м) 10 мкм диаметрли капилляр пай бўйлаб $h \approx 3$ м баландликка кўтарилади.

Капиллярликнинг аҳамияти. Капиллярлик табиатда ва техникада муҳим аҳамиятга эгадир. Масалан, намликнинг тупроқдан ўсимликларга сингиши капиллярлик асосида амалга ошади. Ўсимликларнинг ҳужайралари капиллярлар ҳосил қилиб, улар орқали суюқлик юқорига кўтарилади. Шунингдек, капиллярликдан қуритишда, қурилишда кенг фойдаланилади.

Синов саволлари

1. Агар суюқлик қаттиқ жисмни ҳўлласа, қандай шаклни олади? 2. Агар суюқлик қаттиқ жисмни ҳўлламаса-чи? 3. Қачон суюқлик қаттиқ жисмни ҳўллайди? 4. Қачон суюқлик қаттиқ жисмни ҳўлламайди? 5. Қачон мениск ботиқ, қачон қаварик бўлади? 6. Қачон эгри сирт остидаги босим вужудга келади ва у нимага тенг? 7. Агар суюқлик сирти ботиқ бўлса, қўшимча босим қандай бўлади? Суюқлик сирти қаварик бўлса-чи? 8. Суюқлик капилляр бўйлаб қачон юқорига кўтарилади? Қачон пасаяди? 9. Капилляр найча деб қандай найчага айтилади? 10. Капиллярлик ҳодисаси деб қандай ҳодисага айтилади? 11.Капиллярдаги суюқлик сатҳининг кўтарилиш баландлиги нимага тенг? 12. Суюқлик сатҳининг кўтарилиш баландлиги капилляр радиусига қандай боғлиқ? 13. Капиллярликнинг ўсимликларнинг ўсишдаги аҳамияти қандай? 14. Капиллярликка учта мисол келтиринг.

Кристалл жисмлардан фарқли ўлароқ, аморф жисмларда қўшни атомларнинг ўзаро жойлашувида яқин тартибгина мавжуд бўлади. Аморф жисмларга шиша, пластмасса ва бошқалар мисол бўлади. Олтингугурт, глицерин, шакар ва бошқа моддалар ҳам кристалл, ҳам аморф кўринишда мавжуд бўлиши мумкин. Бунга баъзан шиша симон шакл ҳам дейилади. Аморф жисмлар табиатда кристалл жисмларга нисбатан кам тарқалган.

Полимерлар. Кейинги пайтларда техникада полимерлар дейилувчи моддалар кенг қўлланилмоқда. Улар бир-бирига нисбатан кичик молекуляр массали молекулаларни (мономерларни) улаб, катта молекуляр массали органик бирикмаларни ҳосил қилиш йўли билан олинади. Полимерларни ҳосил қилиш жараёни полимерлаштириш ёки полимерланиш дейилади. Полимер молекуласи таркибига кирувчи маномерлар сони полимерланиш даражасини кўрсатади. Полимерларнинг молекуляр массаси жуда катта бўлади. Мономерларнинг хоссаларига боғлиқ равишда полимерланишда ҳам чизиқли, ҳам тармоқли молекулалар занжирлари ҳосил бўлиши мумкин.

Полимерлар икки синфга ажратилади: табиий ва синтетик.

Табиий полимерларга юқори молекуляр массали бирикмалар — оқсил, каучук ва ҳоказолар киради; синтетик полимерларга эса турли хил пластмассалар киради.

Полимерларнинг механик хоссалари кўп жиҳатдан алоҳида молекулалар ўртасидаги ўзаро таъсир кучларига боғлиқ бўлади. Жумладан, полимерларда батартиб кристалл соҳаларнинг мавжудлиги унинг мустаҳкамлигини анча оширади. Шунингдек, молекулалар занжирининг узунлиги, унинг тармоқланганлиги ва макромолекулада таркибий элементларнинг жойлашуви ҳам муҳим аҳамиятга эга.

Полимерларнинг хоссалари ва қўлланилиши. Пластмассалар жуда кўп ажойиб хоссаларга эга: коррозияга учрамайди, яъни зангламайди ҳам, чиримайди ҳам; температуранинг кескин ўзгаришига бардош берали; жуда катта диэлектрик киритувчанликка эга, мустаҳкам, зичлиги анча кичик, исталган шаклни бериш мумкин ва ҳоказолар.

Айнан шулар сабабли полимерлардан халқ хўжалигида жуда кенг фойдаланилади. Сунъий равишда ҳосил қилинган полимерлар машинасозлик ва асбобсозликда металларнинг ўрнида ишлатилади. Улар қурилишда ёғоч материалларни алмаштирмоқда. Сунъий толалардан турли матолар, табиий терини алмаштирувчи маҳсулотлар ҳосил қилинмоқда. Тиббиётда ҳам қўлланиш имкониятлари жуда катта. Бугунги кунда полимерлар ишлатилмайдиган соҳанинг ўзи йўқ.

Синов саволлари

1. Қаттиқ жисмларнинг хусусиятлари. 2. Қаттиқ жисмларнинг турлари. 3. Анизотроплик деб нимага айтилади? 4. Кристалл жисмларнинг анизотроплиги деганда нима тушунилади? 5. Изотроп моддаларга мисоллар

келтиринг. 6. Кристалларнинг анизотропилигига сабаб нима? 7. Кристалл панжара деб нимага айтилади? 8. Кристалл панжаранинг тугуни деб-чи? 9. Кристалл жисмларнинг турлари. 10. Монокристаллар деб қандай жисмларга айтилади? 11. Монокристалларнинг саноат учун аҳамияти борми? Мисоллар келтиринг. 12. Поликристаллар деб қандай кристалларга айтилади? 13. Поликристаллнинг изотроп бўлишига сабаб нима? 14. Полиморфизм деб нимага айтилади? 15. Аморф жисмлар қандай жисмлар? Уларга мисоллар келтиринг. 16. Полимерлар қандай ҳосил қилинади? 17. Полимерланиш даражаси деб нимага айтилади? 18. Полимерларнинг турлари. 19. Табиий полимерларга нималар киради? 20. Синтетик полимерларга-чи? 21. Пластмассаларнинг кенг қўлланилишига сабаб нима? 22. Полимерларнинг ишлатилишига бешта мисол келтиринг.

57- §. Кристалларнинг турлари. Дефектлар. Суюқ кристаллар

Мазмуни: кристалларнинг турлари; дефектлар; суюқ кристаллар; суюқ кристалларнинг қўлланилиши.

Кристалларнинг турлари. Кристалларни турларга ажратишнинг икки хил усули мавжуд:

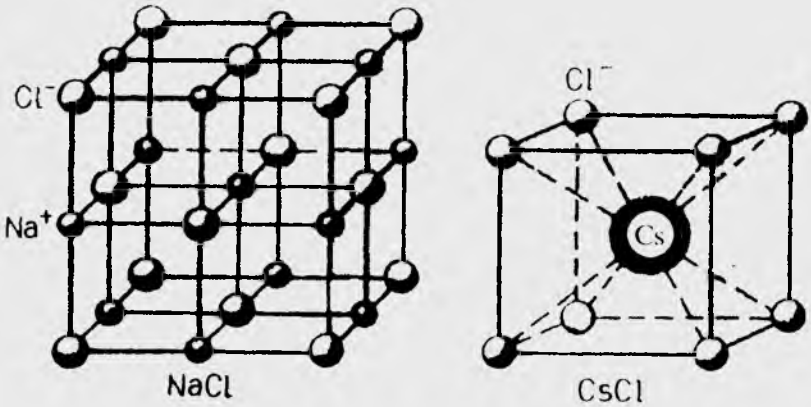
1) кристаллографик — бу усулда зарралар жойлашувининг фазовий даврийлигига аҳамият берилади ва шунинг учун ҳам зарралар геометрик нуқталар сифатида қаралиб, кристаллнинг ички тузилишига эътибор берилмайди. Бу усул махсус курсларда батафсил ўрганилади;

2) физик — бу усулда кристалл панжаранинг тугунларида жойлашган зарраларнинг табиати ва улар орасидаги ўзаро таъсир кучларининг характерига эътибор берилади. Ва айнан шу хоссаларига асосан кристаллар тўрт турга бўлинади: ионли, атомли, металли, молекулали.

Ионли кристаллар. Кристалл панжаранинг тугунларида қарама-қарши зарядли ионлар навбат билан жойлашган бўлади. Ионлар орасидаги ўзаро таъсир кучи, асосан, электростатик характерга эга. Турли ишорали зарядланган ионлар ўртасидаги ўзаро кулон тортишиш кучлари асосида ҳосил бўлган боғланиш ионли боғланиш дейилади. Ионли панжарада алоҳида молекулани ажратиш мумкин эмас, чунки кристаллнинг ўзи гўёки улкан бир молекуладек қаралади. Ионли панжарага ош тузи NaCl ва цезий хлор CsCl яхши мисол бўлади (84- расм).

Атомли кисталлар. Кристалл панжаранинг тугунларида квантмеханик табиатдаги кучлар тутиб турадиган нейтрал атомлар жойлашган. Улар ўртасида электр характерига эга боғланиш мавжуд. Бу боғланиш ҳар бир атомдан битталан электрон жуфтлиги орқали амалга оширилади. Атом иштирок этиши мумкин бўлган алоқалар сони унинг валентлиги билан аниқланади. Атомли боғланишга олмос, графит (83- расм), германий ва кремний мисол бўла олади.

Металли кристаллар. Кристалл панжаранинг тугунларида металлнинг мусбат ионлари жойлашган бўлади. Кристалл панжара ҳосил



84- расм.

бўлишида атомлар билан кучсиз боғланган валентли электронлар атомлардан ажралади ва электрон газини ҳосил қилади. Энди улар фақатгина кристаллгагина тегишли бўлиб қолади. Шундай қилиб, металлнинг мусбат ионлари ўртасида ҳаракатланадиган «эркин» электронлар вужудга келади ва металларнинг электр ўтказувчанлигини таъминлайди. Металли кристаллардаги боғланиш панжара тугунларидаги мусбат зарядли ионлар ва манфий электронлар газа орасидаги тортишиш кучлари ёрдамида таъминланади. Бу тортишиш кучлари бир хил исмли ионлар орасидаги итариш кучлари ёрдамида нейтралланади. Шу билан бирга, бир хил исмли ионларнинг мунтазам жойлашуви кузатилади. Ионлар бир-биридан панжара доимийси дейилгувчи маълум масофада жойлашган бўлади. Металли кристаллга кўпчилик металлар мисол бўлади.

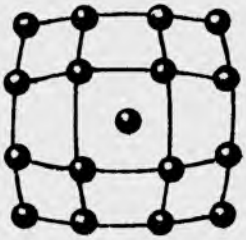
Молекулали кристаллар. Кристалл панжаранинг тугунларида маълум тартибда йўналтирилган молекулалар жойлашган бўлади. Улар орасида молекулалар ўзаро таъсирига хос бўлган тортишиш кучлари мавжуд бўлади. Молекулали кристалларга нафталин, парафин, қуруқ муз (CO_2), муз ва ҳоказолар киради.

Дефектлар[1]**.** Реал кристалларнинг унча катта бўлмаган бўлагигина идеал тузилишга эга бўлиши мумкин. **Бошқа қисмларда эса панжара тугунларида зарралар жойлашувининг батартиблиги бузилади ва бу кристалл панжаранинг дефектлари дейилади**. Кристалл панжаранинг дефектига, асосан, бошқа элемент атомларининг кириб қолиши, бўш жойнинг мавжудлиги ва силжиб жойлашиши сабаб бўлади.

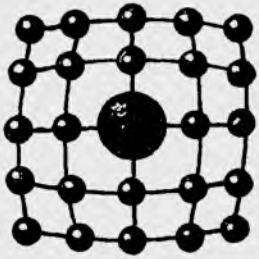
Шуни таъкидлаш лозимки, кристаллардаги дефектлар уларнинг физик хоссаларига катта таъсир кўрсатади.

---

[1]Дефект – лотинча „defectus" – камчилик, нуқсон деган маънони англатади.



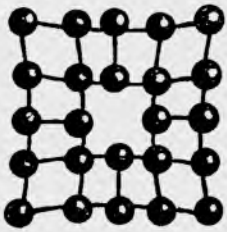
85- расм.



86- расм.

Кристалл панжарага бошқа элемент атомининг кириб қолиши. Бунда бегона атом тугунлараро бўшлиқда (85-расм) ёки асосий моддаларнинг кристалл панжарадаги ўрнида (86-расм) жойлашиб қолиши мумкин.

Бўш жой. Кристалл панжара тугунидаги атомнинг ўрни бўш қолади (87-расм).



87- расм.

Силжиб жойлашиш. Атом текисликларининг бирортаси силжиб жойлашиши мумкин. Бу ҳол, одатда, кристалл силжиш деформациясига учраганда рўй беради ва атом текисликларидан бирортасининг бошқасига нисбатан силжиб жойлашувига олиб келади.

Суюқ кристаллар. Баъзи органик моддаларнинг шундай ҳолати мавжудки, улар гарчи суюқликларга хос бўлган оқувчанлик хусусиятига эга бўлсалар-да, лекин кристалларга хос бўлган молекулаларининг жойлашувидаги маълум белгиларга эга бўлган физик хоссаларга бўйсунувчанлик хусусиятларига эгадирлар. Кимевий бирикмаларнинг бундай ҳолатлари суюқ кристалл ҳолати деб аталади. Бундай суюқ суюқ кристалл ҳолати топилган бирикмалар сони бир неча минглар ортиб кетган. Одатда, суюқ кристаллар қаттиқ кристаллларнинг эритилиш орқали ҳосил қилинади.

Суюқ кристаллар электрик, электрукавувчанлик, магнит сингдирувчанлик, электрик қиритувчанлик, оптик ва бошқа бир қанча хусусиятларга бўйсунувчанлик хусусиятларига эгадирлар.

Суюқ кристалларнинг қўлланилиши. Ҳозирги пайтда суюқ кристаллларнинг қўлланилиш соҳалари жуда кенг. Айниқса, маълумотларни қайта ишлаш ва тасвирлаш, ҳарфли-сонли экранлар, яъни электрон ҳисоблаш машиналари, электрон соатлар, микрокалькуляторлар, реклама ичитлари бунга яққол мисол бўлади. Юпқа экранли телевизорлар ва мониторларда ҳам суюқ кристаллардан фойдаланилади. Уларнинг тиббиётда қўлланиладиган нозик асбобларда, назорат қурилмаларида қўлланилиш имкониятларидан ҳали тўлалигича фойдаланилгани ҳам йўқ.

Синов саволлари

1. Кристалларни турларга ажратишнинг қандай турлари мавжуд ва уларнинг моҳияти нимада? 2. Турларга ажратишнинг физик усулига биноан кристаллар нечта турга бўлинади? 3. Ионли кристаллар деб қандай кристалларга айтилади ва уларга мисоллар келтиринг. 4. Ионли боғланиш деб қандай боғланишга айтилади. 5. Атомли кристаллар деб қандай кристалларга айтилади ва уларга мисоллар келтиринг. 6. Кристалл панжара тугунидаги нейтрал атомларни қандай кучлар тутиб туради? 7. Металли кристаллар деб қандай кристалларга айтилади? 8. Металли кристалларда эркин электронлар қандай вужудга келади? 9. Металли кристаллардаги боғланиш қандай таъминланади? 10. Молекулали кристаллар деб қандай кристалларга айтилади ва уларга мисоллар келтиринг. 11. Кристалл панжаранинг дефекти деб нимага айтилади? 12. Кристалл панжарада бошқа элемент атомининг жойлашиб қолиши. 13. Бўш жой қолиши. 14. Силжиб жойлашиш. 15. Суюқ кристалл ҳолати деб қандай ҳолатга айтилади? 16.Одатда суюқ кристаллар қандай усулда ҳосил қилинади? 17. Суюқ кристаллар қандай анизотроплик хусусиятларга эга? 18. Суюқ кристалларнинг қўлланилишига бешта мисол келтиринг.

58- §. Қаттиқ жисмларнинг механик хоссалари

Мазмуни: қаттиқ жисмнинг деформацияси; деформация ва қаттиқ жисмнинг тузилиши; материалнинг мустаҳкамлиги, чўзилиш диаграммаси, модданинг пластиклиги; модданинг мўртлиги; модданинг қаттиқлиги.

Қаттиқ жисмнинг деформацияси. Механика бўлимида қаттиқ жисм деформациясига тўхталиб ўтилган эди. Шуни таъкидлаш лозимки, жисм фақат ташқи куч натижасида эмас, балки қиздириш ва совитиш натижасида ҳам ўз шаклини ва, демак, ички энергиясини ўзгартириши мумкин.

Ташқи кучлар таъсирида, қиздирилганда ёки совитилганда жисм ҳажмининг ва шаклининг ўзгаришига қаттиқ жисмнинг деформацияси дейилади.

Деформацияловчи сабаб олингандан сўнг жисм ўзининг дастлабки ҳолатини тўла тикласа, эластик деформация, тикламаса пластик деформация дейилади. Моддалар эластиклик ва пластиклик хоссаларига эга бўлади. Масалан, пўлат, резина, тери-эластик, мис, мум-пластик моддалардир.

Деформация ва қаттиқ жисмнинг тузилиши. Деформация натижасида кристалл панжара тугунларида жойлашган зарраларнинг бир-бирларига нисбатан силжишлари рўй беради. Бу эса зарралар ўртасида вужудга келган ўзаро таъсир кучлари мувозанатининг бузилишига олиб келади. Натижада зарраларни дастлабки ўринларига қайтаришга ҳаракат қилувчи ички эластиклик кучлари $F_{ич}$ вужудга келади.

Шуни таъкидлаш лозимки, ҳар қандай деформацияни амалга ошириш учун иш бажарилади ёки иссиқлик миқдори берилади. Демак, деформацияланган жисм ички энергиясининг ўзгариши ташқи кучлар таъсирида бажарилган иш ёки берилган иссиқлик миқдорига тенг бўлади. Мисол учун эластик равишда чўзилган ёки сиқилган стерженнинг потенциал энергияси қуйидагича ўзгаради:

$$E_n = A = \frac{1}{2} \cdot \frac{ES}{l} \cdot (\Delta l)^2,$$

бу ерда A — шу деформацияни амалга оширган ташқи кучлар иши; S — деформацияланувчи жисмнинг кўндаланг кесими юзаси, l — узунлиги, E — юнг модули.

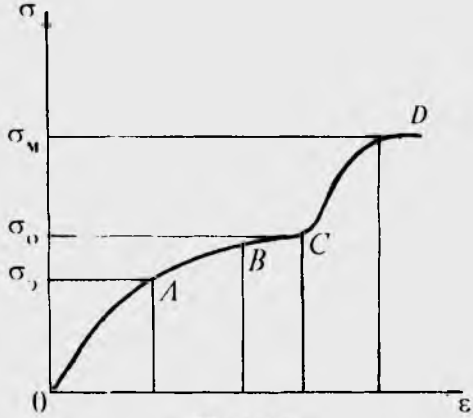
Кўриниб турибдики, эластик равишда чўзилган стерженнинг потенциал энергияси деформация квадрати $(\Delta l)^2$ га тўғри пропорционал.

Материалнинг мустаҳкамлиги. Турли хил қурилмаларни лойиҳалашда материалларнинг мустаҳкамлигини ҳисобга олиш керак. Материалларнинг мустаҳкамлиги деб, у бузилмасдан чидаши мумкин бўлган юкка (оғирликка) айтилади. Маҳкамлик чегараси $\sigma_м$ деб нормал механик кучланишнинг юк чидаши мумкин бўлган энг катта қийматига айтилади.

Эластиклик чегараси $\sigma_э$ деб σ нинг деформация ва унга қўйилган куч орасидаги пропорционаллик сақланадиган чегарадаги қийматига, яъни Гук қонуни бажариладиган чегарадаги қийматига айтилади.

Чўзилиш диаграммаси. Энди чўзилиш диаграммаси деб ном олган кучланганлик σ ва нисбий деформация ε орасидаги боғланишни кўрайлик (88-расм).

Гук қонуни бажариладиган OA қисмга эластик деформация мос келади, $\sigma_э$ — эластиклик чегараси. У материалларнинг турига боғлиқ бўлиб, пўлат учун $5 \cdot 10^8$ Па, мис учун эса $1,2 \cdot 10^8$ Па ни ташкил этади. $ABCD$ қисмга пластик деформация мос келади. AB қисмда қаттиқ жисмнинг оқиши вужудга келади, яъни нисбий деформация механик кучланишга нисбатан тезроқ ўсади. BC қисмда эса механик кучланиш ўзгармай қолади, нисбий деформация эса ортади. Оқиш чегараси σ_0 — қисмга мос келади. D нуқта маҳкамлик чегараси $\sigma_м$ га мос келади. Пўлат учун у $7,85 \cdot 10^8$ Па га, мис учун эса $2,45 \cdot 10^8$ Па га тенг.



88- расм.

Модданинг пластиклиги. Жуда кўп моддаларнинг пластиклиги уларнинг эластиклик чегарасидан жуда катта бўлади. Бундай моддалар қайишқоқ моддалар дейилади. Улар ҳам эластик, ҳам пластик деформацияга эга бўлади. Бундайларга мис, рух, темир ва бошқалар мисол бўлади.

Мум, лой, пластилин каби эластик деформация соҳаси мавжуд бўлмаган моддалар эса пластиклар дейилади.

Маҳсулотнинг синишга қаршилик қилиш қобилияти фақат модданинг сифатига эмас, балки маҳсулотнинг шаклига ва кўринишига ҳам боғлиқ бўлади. Масалан, таёқчани чўзишдан кўра бир томонлама сиқиш ёрдамида тезроқ синдириш мумкин.

Модданинг мўртлиги. Унча катта бўлмаган деформация натижасида бўлакланиб кетадиган жисмга мўрт жисм дейилади. Мисол учун шиша, чинни идишлар мўрт ҳисобланади. Чўян, мармар, каҳрабо жудаям юқори мўртликка эга. Пўлат, мис, қўрғошинлар эса мўрт бўлмаган моддалар ҳисобланади. Мўрт моддаларнинг эластиклик ва мустаҳкамлик чегараси қарийб бир хил. Шуни таъкидлаб ўтиш лозимки, у ёки бу моддадан маълум мақсадда фойдаланишда унинг мўртлигига эътибор берилади.

Модданинг қаттиқлиги. Техникада моддаларнинг қаттиқлиги ҳам муҳим аҳамиятга эга бўлади. Иккита материал берилган бўлса, уларнинг қайсиниси иккинчисининг сиртида чизиб из қолдира олса, ўша қаттиқ ҳисобланади. Металларни арралаш ва кесиш учун ишлатиладиган моддалар қайта ишланадиганларига нисбатан қаттиқроқ бўлиши кераклиги шубҳасиз. Ҳозирги пайтда бу мақсадларда ўта қаттиқ қотишмалардан фойдаланилади.Табиий моддалар ичида энг қаттиғи олмосдир.

Синов саволлари

1. Қаттиқ жисмнинг деформацияси деб нимага айтилади? 2. Қандай деформация эластик дейилади? Мисоллар келтиринг. 3. Пластик деформация деб қандай деформацияга айтилади? Мисоллар келтиринг. 4. Деформация натижасида кристалл панжарада қандай ўзгариш рўй беради? 5. Ички эластиклик кучлари қандай вужудга келади? 6. Деформацияланган жисмнинг ички энергияси ўзгарадими? 7. Деформацияланган жисм ички энергиясининг ўзгариши нимага тенг бўлади? 8. Чўзилган ёки сиқилган стерженнинг потенциал энергияси нимага тенг бўлади? 9. Материалнинг мустаҳкамлиги деб нимага айтилади? 10. Маҳкамлик чегараси деб-чи? 11. Эластиклик чегараси деб нимага айтилади? 12. Чўзилиш диаграммаси деб қандай боғланишга айтилади? 13. Чўзилиш диаграммасини таҳлил қилиш. 14. Ҳам эластик, ҳам пластик хоссаларга эга бўлган моддалар мавжудми? Уларга мисоллар келтиринг. 15. Пластиклар деб қандай моддаларга айтилади? 16. Мўрт жисмлар деб қандай жисмларга айтилади? Мўрт ва мўрт бўлмаган моддаларга мисоллар келтиринг. 17.Жисмларнинг қаттиқлиги қандай аниқланади? Қаттиқ жисмларга мисоллар келтиринг.

59- §. Моддаларнинг иссиқликдан кенгайиши

Мазмуни: иссиқликдан кенгайиш; иссиқликдан кенгайишнинг сабаби; чизиқли кенгайиш; ҳажмий кенгайиш; суюқликларнинг иссиқликдан кенгайиши; қизитилган суюқликнинг зичлиги; иссиқликдан кенгайишни техникада ва ҳаётда эътиборга олиш; сув зичлигининг температурага боғлиқлиги; сув зичлиги ўзгаришининг табиатга таъсири; сувнинг музлаганда кенгайиши ва унинг оқибатлари.

Иссиқликдан кенгайиш. Қизитилган жисм ўлчамларининг катталашуви, совитилганининг эса кичиклашуви кундалик ҳаётдан маълум. Температуранинг кўтарилиши натижасида жисм чизиқли ўлчамларининг ва ҳажмининг ортиши иссиқликдан кенгайиш дейилади.

Иссиқликдан кенгайишнинг сабаби. Температура ортиши билан атомларнинг тўла энергияси ортади, демак иссиқлик тебранма ҳаракат амплитудаси ортади. Натижада қаттиқ жисм зарраларининг мувозанат ҳолатлари орасидаги ўртача масофа катталашади, яъни иссиқликдан кенгайиш рўй беради.

Чизиқли кенгайиш. Бизга T_0 температурали ва l_0 узунликдаги қаттиқ жисм берилган бўлсин. Уни бир ўлчамли, яъни кўндаланг кесим юзаси узунлигига нисбатан эътиборга олмайдиган даражада кичик деб оламиз. Жисмни T температурагача, яъни $\Delta T = T - T_0$ температурагача иситайлик. Натижада унинг узунлиги l гача, яъни $\Delta l = l - l_0$ гача ортади. Тажрибаларнинг кўрсатишича, қизиган жисмнинг узунлиги температура ўзгаришига чизиқли боғлиқ.

$$l = l_0 (1 + \alpha \Delta T), \qquad (59.1)$$

бу ерда α чизиқли кенгайишнинг температура коэффициенти дейилади. Агар (59.1) дан α ни аниқласак,

$$\alpha = \frac{1}{\Delta T} \frac{\Delta l}{l_0} \qquad (59.2)$$

ни топамиз. Демак, α жисмнинг нисбий чизиқли кенгайиши $\frac{\Delta l}{l_0}$ нинг температура ўзгариши ΔT га нисбати билан аниқланади. Бошқача айтганда, жисмнинг температураси 1 К га ўзгарганда унинг узунлиги дастлабки узунлигининг қанча қисмига ўзгарганини кўрсатади:

$$[\alpha] = \frac{1}{[\Delta T]} \frac{[\Delta l]}{l} = \frac{1\text{м}}{\text{К} \cdot \text{м}} = 1\text{К}^{-1}$$

Демак, СИ да $[\alpha] = 1\text{К}^{-1}$ бўлиб, амалда жуда кўп моддалар учун унинг қиймати температурага боғлиқ бўлмайди.

4- жадв

Баъзи моддалар учун 273 К да чизиқли кенгайишнинг температура коэффициенти

Моддалар	α, 10^6 K^{-1}	Моддалар	α, 10^6 K^{-1}
Алюминий	24	Қўрғошин	29
Вольфрам	4	Шиша:	
Ёғоч:		оддий	10
тола бўйлаб	6	кварц	0,7
кўндаланг	30	Суперинвор (темир, никель, хром қотишмаси)	0,03
Темир	12	Рух	30
Инвор (темир ва никель қотишмаси)	0,9	Чинни	3
Жез	18		
Мис	17		

Ҳажмий кенгайиш. V_0 ҳажм T_0 температурали жисмни T температурагача, яъни $\Delta T = T - T_0$ температурагача қиздирайлик. Натижада жисмнинг ҳажми V гача, яъни $\Delta V = V - V_0$ га ортади.

Қизиган жисмнинг ҳажми температура ўзгаришига чизиқли боғлиқ:

$$V = V_0(1 + \beta \cdot \Delta T), \qquad (59.3)$$

бу ерда β ҳажмий кенгайишнинг температура коэффициенти дейилади. Агар (59.3) дан β ни топсак,

$$\beta = \frac{1}{\Delta T}\frac{\Delta V}{V_0} \qquad (59.4)$$

ни оламиз. Демак, β жисм ҳажмининг нисбий кенгайиши $\frac{\Delta V}{V_0}$ нинг температура ўзгариши ΔT га нисбати билан аниқланади. Бошқача айтганда, жисмнинг температураси 1 К га ўзгарганда унинг ҳажми дастлабки ҳажмининг қанча қисмига ўзгарганини кўрсатади.

Агар $V = l^3$ эканлигини эътиборга олсак, чизиқли ва ҳажмий кенгайишларнинг температура коэффициентлари орасида

$$\beta = 3\alpha \qquad (59.5)$$

муносабат мавжудлигини топиш мумкин.

Суюқликларнинг иссиқликдан кенгайиши. Суюқлик қиздирилганда молекулаларнинг бетартиб ҳаракат ўртача кинетик энергияси ортади. Бу эса молекулалар орасидаги масофанинг ортишига олиб келади. Натижада суюқликнинг ҳажми ортади. Қаттиқ жисмларнинг каби суюқликларнинг иссиқликдан кенгайиши ҳам ҳажмий кенгайишнинг температура коэффициенти билан тавсифланади. Қиздирилган суюқликнинг ҳажми (59.3) ифода билан аниқланади.

5- жадвал

Баъзи суюқликлар учун 273 К да ҳажмий кенгайишнинг температура коэффициенти

Модда	β, 10^{-3} K^{-1}
Симоб	0,54
Керосин	3,0
Спирт	3,3
Эфир	1,7

Қиздирилган суюқликнинг зичлиги. Маълумки, зичлик $\rho = \frac{m}{V}$ ифода ёрдамида аниқланади. Демак, қиздирилган суюқликнинг ҳажми ортса, унинг зичлиги камайиши керак.

Зичлик ўзгаришининг температурага боғлиқлигини аниқлаш учун T_0 ва T температуралардаги суюқлик зичликларини ρ_0 ва ρ билан белгилаймиз ҳамда (59.3) ёрдамида оламиз, бунда $V = \frac{m}{\rho}$ лигидан фойдаланамиз:

$$\frac{m}{\rho} = \frac{m}{\rho_0}(1 + \beta \cdot \Delta T)$$

ёки

$$\rho = \frac{\rho_0}{(1 + \beta \cdot \Delta T)}. \qquad (66.6)$$

Иссиқликдан кенгайишни техникада ва турмушда эътиборга олиш. Ҳар қандай асбоб-ускуна, машиналарни ясашда улар тайёрланадиган материалларнинг иссиқликдан кенгайишни ҳисобга олинади. Мисол учун электр қурилмаларида турли хил металлар ёки металл ва шишаларнинг кавшарланишига заруран бўлса, унда чизиқли кенгайиш температура коэффициентлари бир-бирига яқин бўлганларинигина танлаш зарур. Акс ҳолда қизиш ёки совиш натижасида механик кучланиш вужудга келиб, асбобни ишдан чиқариши мумкин.

Кўплаб машина ва механизмларнинг иссиқликдан кенгайиши мақсадга мувофиқ бўлмаган қисмлари инвордан ясалади. Кўрсатиши температурага боғлиқ бўлмаслиги учун инвордан соат маятниклари, геодезия узунлик ўлчов асбоблари ясалади.

Қувур йўлларини қуришда маълум масофада букри қисмлар қилинади. Бу қисмлар қувурларни исишда ёки совишда узунлиги ўзгариши натижасида бузилишдан сақлайди.

Электр узатиш симларининг осилтириб қўйилишида ҳам ўтказгич материалининг иссиқликдан кенгайиши ҳисобга олинади. Электр ёрдамида юрувчи транспорт воситаларининг ўтказгичлари юклар ёрдамида тортиб қўйилади ва ҳоказолар.

Техникада суюқликларнинг ҳам иссиқликдан кенгайишини ҳисобга олиш зарур. Ёпиқ идишда сақланадиган суюқлик қиздирилганда портлаб кетиши мумкин. Шунинг учун ҳам турли идишлар суюқликлар билан тўлдирилганда ёки жуда қаттиқ ёпилмайди ёки суюқлик ҳажмининг ортиши ҳисобга олиниб, бўшлиқ қолдирилади.

Сув зичлигининг температурага боғлиқлиги. (66.6) ифодадан кўриниб турибдики, температура ортиши билан суюқликларнинг зичлиги камаяди. Лекин сув бундан мустасно.

Тажрибаларнинг кўрсатишича, сув ўзининг энг катта зичлигига 4 °С да эришади. Бунга сабаб муз кристалл панжарасининг ўзига хос хусусиятга эга эканлигидир. Агар суюқ ҳолатда H_2O молекулалари бир-бирига жипс жойлашса, кристалланишда молекулалар орасидаги масофа ортади ва муз кристали молекулалари орасида бўшлиқ вужудга келади. Натижада муз ҳолатидаги сувнинг ҳажми ортади.

Сувнинг зичлиги 4 °С да энг катта қийматига эришади ва музлагидан ҳам катта бўлади. Шунинг учун ҳам муз сувда сузиб юради. Температура 4 °С дан кўтарилганда ҳам, пасайганда ҳам суюқликнинг зичлиги камаяди ва, демак, ҳажми ортади.

Сув зичлиги ўзгаришининг табиатга таъсири. Ер шари сиртининг 70 %ини сув қоплаб тургани учун ҳам, унинг иссиқликдан кенгайишининг ўзига хос хусусияти об-ҳавога катта таъсир кўрсатади. Бунга сув ҳавзаларида турли температурали сув қатламларининг тинимсиз ўрин алмашинуви яққол мисол бўлади. Сувнинг температураси 4 °С га етгунча иссиқроқ сувнинг зичлиги совуқроқ сувнинг зичлигига нисбатан кичикроқ бўлади ва шунинг учун ҳам иссиқроқ сув юқорига кўтарилиб, совуқроғи пастга тушади.

Температуранинг 0 дан 4 °С гача бўлган оралиғида эса тескари ҳол рўй беради. Энди юқорироқ температурали сув пастга тушади, совуқроги эса юқорига кўтарилиб, янада совийди ва музлайди. Шу сабабли сув ҳавзаларининг юқори қатлами музлаб, қуйи қатламлари музламайди. Натижада сув ҳавзаси тубигача музламай, ундаги балиқлар ва бошқа жонзотлар ҳаёти сақланиб қолади.

Сувнинг музлаганда кенгайиши ва унинг оқибатлари. Юқорида қайд этилганидек, сув музлаганда унинг молекулалари орасидаги масофа ва, демак, муз ҳолатидаги сувнинг ҳажми ҳам ортади. Бу ҳол тоғ жинсларининг емирилишига олиб келади. Жинс қатламлари орасига кириб қолган сув музлайди ва ҳажми ортиб, қатламларни емиради. Шунингдек, сув солинган идишлар ҳам унинг музлаши натижасида ёрилиши ёки синиши мумкин. Бунинг олдини олиш учун турли усуллардан фойдаланилади. Масалан, автомобилларнинг совиткичларига сув ўрнига анча паст температураларда ҳам музламайдиган бошқа суюқликлардан фойдаланилади.

Синов саволлари

1. Иссиқликдан кенгайиш деб нимага айтилади? 2. Иссиқликдан кенгайишнинг сабаби нима? 3. Қиздирилган жисм узунлигининг температурага боғлиқлигини ёзинг. 4.Чизиқли кенгайишнинг температура коэффициенти қандай физик маънога эга ва унинг бирлиги нима? 5. Қиздирилган жисмнинг ҳажми температурага боғлиқми? 6. Ҳажмий кенгайишнинг температура коэффициенти қандай физик маънога эга ва унинг бирлиги нима? 7. Чизиқли ва ҳажмий кенгайишларнинг температура коэффициентлари орасида қандай боғланиш мавжуд? 8. Қиздирилган суюқлик ҳажмининг ортиши қандай тушунтирилади? 9. Қиздирилган суюқлик ҳажмининг ўзгариши қандай ифода билан аниқланади? 10. Қиздирилган суюқликнинг ҳажми қандай ўзгаради? 11. Қиздирилган суюқлик ҳажмининг ўзгаришини тушунтириб беринг. 12. Турли моддалардан ясалган жисмларни кавшарлаганда иссиқликдан кенгайишини ҳисобга олиш зарурми? 13. Инворнинг қандай хусусиятлари мавжуд? 14. Қувурларда букри қисмларнинг, электр узатиш симларининг осилтириб қўйилишининг сабаби нимада? 15. Техникада суюқликларнинг иссиқликдан кенгайиши қандай қилиб ҳисобга олинади? 16. Температура ортиши билан сувнинг зичлиги қандай ўзгаради? 17. Сув ўзининг энг катта зичлигига қачон эришади? 18. Муз ҳолатидаги сувнинг ҳажми қандай қилиб ортади? 19. Нима учун муз бўлаги сувда сузиб юради? 20. 4 °С гача пасайишда иссиқроқ ва совуқроқ сувлар қандай жойлашади? 21. Температуранинг 0 дан 4 °С гача оралиғида-чи? 22. Сув ҳавзаларининг юқори қатлами музлаб, пастки қатлами музламай қолишига сабаб нима? 23. Тоғ жинсларининг емирилишига сабаб нима? 24. Нима учун музлаганда сув солинган идишлар ёки суви бўлган қувурлар ёрилиб кетади? 25. Нима учун автомобилларнинг совитгичларига паст температураларда ҳам музламайдиган суюқликлар қуйилади?

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. 10 л сиғимли идишда 0,25 кг массали азот бор: 1) газнинг ички босими p'; 2) молекулаларнинг хусусий ҳажми V' лар аниқлансин.

Берилган:

$V = 10л = 10^{-2}$ м^3;
$m = 0{,}25$кг;

———————

$p' = ?$
$V' = ?$

Ечиш. Газнинг ички босими

$$p' = \nu^2 \frac{a}{V^2} = \left(\frac{m}{M}\right)\frac{a}{V^2}$$

ифода ёрдамида аниқланади. Агар азот учун $a = 0{,}135 \frac{Н \cdot м^4}{моль^2}$ ва $m = 28 \cdot 10^{-3} \frac{кг}{моль}$ эканлигини ва берилганларни назарда тутсак,

$$p' = \left(\frac{0{,}25}{28 \cdot 10^{-3}}\right)\frac{0{,}135}{(10^{-2})^2} Па = 107{,}6кПа;$$

2) молекулаларнинг хусусий ҳажмини топиш учун бир молдаги молекулаларнинг ҳажми Ван-дер-Ваальс доимийси b нинг тўртдан бир қисмига тенглигидан фойдаланамиз:

$$V = \nu\frac{b}{4} = \frac{mb}{4M},$$

азот учун $b = 3{,}86 \cdot 10^{-5}\ \frac{м^3}{моль}$ лигидан

$$V = \frac{0{,}25 \cdot 3{,}86 \cdot 10^{-5}}{4 \cdot 28 \cdot 10^{-3}}\ м^3 = 8{,}62 \cdot 10^{-5}\ м^3.$$

Жавоб. $p' = 107{,}6$ кПа; $V' = 8{,}62 \cdot 10^{-5}$ м^3.

2- масала: Глицерин капилляр найда 20 мм баландликка кўтарилди. Агар най каналининг диаметри 1 мм бўлса, глицериннинг сирт таранглиги аниқлансин.

Берилган:

$h = 20$мм $= 2 \cdot 10^{-2}$м;
$d = 1$мм $= 10^{-3}$м.

———————

$\alpha = ?$

Ечиш. Суюқликнинг капилляр найда кўтарилиш баландлиги

$$h = \frac{2\alpha}{\rho \cdot g \cdot R}$$

формула ёрдамида аниқланади, бу ифодадан α ни аниқласак,

$$\alpha = \frac{\rho \cdot g \cdot R \cdot h}{2},$$

бу ерда $\rho = 1{,}26 \cdot 10^3$ кг/м^3 глицериннинг зичлиги; $R = \frac{d}{2}$ капилляр найнинг радиуси; $g = 9{,}81$ м/с^2 эркин тушиш тезланиши. Катталикларининг қийматларидан фойдаланиб топамиз:

$$\alpha = \frac{1{,}26 \cdot 10^3 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}5 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^{-2}}{2}\ \frac{Н}{м} = 62 \cdot 10^{-3}\ \frac{мН}{м}.$$

Жавоб. $\alpha = 62\ \frac{мН}{м}$

Мустақил ечиш учун масалалар

1. Кислород учун Ван-дер-Ваальс доимийси $a = 0{,}136\ \frac{Н \cdot м^4}{моль}$ га тенг. Кислороднинг ички босими ҳисоблансин. ($P' = 0{,}271$кПа.)
2. Капилляр найдан оқиб чиқаётган 100 томчи спиртнинг массаси 0,71 г. Агар узилиш пайтида томчи бўйнининг диаметри 1 мм бўлса, спиртнинг сирт таранглиги аниқлансин. $\left(\alpha = 22{,}16\ \frac{мН}{м}.\right)$
3. Ҳар бирининг радиуси 1 мм дан бўлган иккита симоб томчиси битта катта томчига бирлашади. Бу қўшилишда қандай энергия ажралади? Жараён изотермик ҳисоблансин. ($\Delta E = 2{,}64$ мкЖ.)

ЭЛЕКТРОДИНАМИКА АСОСЛАРИ

Электродинамика — электр зарядлари орасидаги ўзаро таъсирни амалга оширувчи электромагнит майдон қонунлари ҳақидаги бўлимдир.

Энг содда электр ва магнит ҳодисалари жуда қадим замонларданоқ одамларга маълум бўлган. Бу ҳодисалар ягона системага солинувчи кўплаб тажрибалар ўтказилган, кашфиётлар қилинган. 1785 йилда француз физиги Ш.Кулон (1736—1806) нуқтавий зарядлар орасидаги ўзаро таъсир қонунини кашф этди. 1820 йили даниялик физик Эрстед (1777—1851) электр ток атрофида магнит майдон ҳосил бўлишини кашф этди. 1831 йилда М.Фарадей (1791—1867) элекромагнит индукция ҳодисасини очди. Инглиз олими Ж. Максвелл (1831—1879) электродинамиканинг асосий қонунларини яратди ва 1867 йилда эълон қилди. У ўзининг назариясида табиатда ягона электромагнит майдон мавжудлигини кўрсатди. Немис физиги Г. Герц (1857—1894) электромагнит тўлқинларнинг мавжудлигини тажрибада исботлаб, Максвелл назариясини тасдиқлади.

XII БОБ. ЭЛЕКТР МАЙДОН

Электр майдон — магнит майдоннинг (магнит майдон билан биргаликда) намоён бўлиш шаклларидан биридир. У ҳаракатсиз зарядга таъсир кўрсатади. Электр майдон ҳақидаги тушунча инглиз физиги М.Фарадей томонидан киритилган. Унинг тасаввури бўйича ҳаракатсиз ҳар бир заряд ўз атрофида электр майдон ҳосил қилади. Бу зарядлар бир-бирлари билан майдонлари орқали таъсирлашишади. Ҳаракатсиз заряд атрофидаги электр майдонга электростатик майдон дейилади. Ушбу боб электростатик майдонни ўрганишга бағишланади.

60- §. Электр заряди. Электр зарядининг сақланиш қонуни

М а з м у н и: электр заряди; электр зарядининг дискрет эканлиги; электромагнит таъсир; жисмларнинг зарядланиши; электр зарядининг сақланиш қонуни; электр зарядининг СИ даги бирлиги; моддалардаги электронлар миқдори.

Электр заряди. Жун матога ишқаланган каҳрабо таёқча енгил нарсаларни тортиш қобилиятига эга бўлиши жуда қадим замонлардан маълум бўлган. Инглиз врачи Жильберт (XVI асрнинг охири) ишқалашдан кейин енгил нарсаларни торта олиш қобилиятига эга бўлган жисмларни электрланган (юнонча каҳраболанган) деб атади ва *электр* сўзи қўлланила бошланди. Табиатдаги моддаларнинг турли-туманлигига қарамасдан фақат икки хилгина, қарама-қарши ишорали электр зарядлари мавжуд. Америкалик физик Р.Милликен (1868—1953) тажрибалар ёрдамида электр заряди дискрет эканлигини, яъни исталган жисмнинг заряди элементар электр заряди e($e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл) га каррали эканлигини аниқлади. Бошқача айтганда исталган жисмнинг заряди $Q = \pm Ne$, (N – бутун сон) бўлмоғи керак. Электрон ($m_e = 9{,}11 \cdot 10^{-31}$ кг) ва протон ($m_p = 1{,}67 \cdot 10^{-27}$ кг) мос равишда манфий ва мусбат элементар зарядли зарралардир.

Электромагнит таъсир. Юқорида кўрганимиздек, ҳар қандай жисм массасидан ташқари электр заряди билан ҳам характерланади. Ва улар орасида на фақат гравитацион, балки электромагнит таъсир ҳам мавжуддир. Бир хил исмли зарядлар итаришади, турли исмлилари эса тортишишади. Шуни алоҳида таъкидлаш лозимки, электромагнит таъсир гравитацион таъсирдан кўп марта кучлироқдир. Шу билан бирга гравитацион таъсир барча жисмларга хос бўлса, электромагнит таъсир фақатгина зарядланган жисмларгагина хос хусусиятдир. Электромагнит таъсирнинг кучлилиги жисмдаги заряд миқдорига боғлиқ бўлади.

Жисмларнинг зарядланиши. Табиатдаги барча жисмлар электрланиб қолиш қобилиятига эга. Электрланиш эса турлича усуллар билан амалга оширилади. Уларнинг энг соддаси бир жисмни иккинчисига ишқалашдир. Масалан, терига ишқаланган шиша таёқча мусбат, жунга ишқаланган каҳрабо таёқча эса манфий зарядланиб қолади. Хўш бу зарядлар қандай пайдо бўлади? Шуни таъкидлаш лозимки, барча жисмларда электр заряди мавжуд. Фақатгина электронейтрал, яъни зарядланмаган жисмларда мусбат ва манфий зарядларнинг миқдори тенг. Таёқчаларни матога ишқалаш эса зарядларнинг пайдо бўлишига эмас, балки уларнинг қайта тақсимланишигагина олиб келади. Натижада уларнинг бирида мусбат заряд кўпроқ йиғилади ва таёқча мусбат зарядланиб қолади, бошқасида эса манфий зарядлар кўпроқ қолади ва таёқча манфий зарядланиб қолади. Таёқчамато системасида эса зарядлар миқдори ўзгармай қолаверади. Яъни бирор жараёнда ҳосил бўладиган зарядларнинг алгебраик йиғиндиси нолга тенг бўлади.

Электр зарядининг сақланиш қонуни. Жуда кўплаб, жумладан, ўз тажрибалари асосида инглиз физиги М.Фаралей 1843 йилда табиатнинг фундаментал қонунларидан бири электр зарядининг сақланиш қонунини таърифлади: **Исталган ёпиқ системада, система ичида қандай жараёнлар рўй беришидан қатъи назар, электр зарядларининг алгебраик йиғиндиси ўзгармайди:**

$$\sum_{i=1}^{n} Q_i = \text{const}, \qquad (60.1)$$

бу ерда n — системалаги зарядлар сони.

Ёпиқ система деб ташқи жисмлар билан заряд алмашмайдиган системага айтилади.

Электр заряди пайдо ҳам бўлмайди, йўқолмайди ҳам, у фақат бир жисмдан иккинчисига узатилади ёки шу система ичида қайта тақсимланади.

Электр заряди — релятивистик инвариант катталик бўлиб, унинг миқдори қандай саноқ системасида қаралаётганлигига, заряднинг ҳаракатда ёки тинч турганлигига мутлақо боғлиқ эмас.

Электр зарядининг СИ даги бирлиги. Электр зарядининг СИ даги бирлиги ҳосилавий катталик бўлиб, 1А ток оқаётган ўтказгичнинг кўндаланг кесим юзидан 1с да оқиб ўтган зарядлар миқдорига тенгдир. Бу заряд миқдори 1 кулон (Кл) дейилади.

Моддалардаги электронлар миқдори. Эркин электронларининг миқдорига қараб моддалар ўтказгичларга, диэлектрикларга ва ярим ўтказгичларга ажралади. Бутун ҳажми бўйлаб электр зарядини эркин ўтказувчи моддалар ўтказгичлар дейилади. Улар икки гуруҳга бўлинади: 1) биринчи тур ўтказгичлар (металлар) — уларда заряд (эркин электронлар) кўчганда кимёвий ўзгариш рўй бермайди; 2) иккинчи тур ўтказгичлар (эритмалар) — уларда заряднинг кўчиши кимёвий ўзгаришларга олиб келади. Эркин электронлари амалда мавжуд бўлмаган моддалар (шиша, пластмассалар) диэлектриклар дейилади. Ярим ўтказгичлар (германий, кремний ва ҳоказолар) ўтказгичлар ва диэлектриклар орасида бўлади.

Синов саволлари

1. Электродинамика бу нима нима ҳақида? 2. Электр ҳодисаларини кишилар қачон сеза боғлашган? 3. Электр ҳаққида тушунчаси ким томонидан ва нима асосида фанга киритилган? 4. Р. Милликен ўз тажрибасида нимани аниқлаган? 5. Қандай электр зарядлари мавжуд? 6. Электр заряди дискрет деганда нимани тушунасиз? 7. Электрон ва протонлар ҳақида нималарни биласиз? 8. Зарядланган заррачалар орасида қандай таъсир мавжуд? 9. Электромагнит таъсир барча жисмларга хос хусусиятми? Гравитацион таъсир-чи? 10. Электр зарядининг миқдори нима билан характерланади? 11. Гравитацион таъсир кучлими ёки электромагнит таъсирми? 12. Жисмлар қандай усуллар билан электрланиши мумкин? 13. Жисмларда заряд қаердан пайдо бўлади? 14. Бирор жараёнда ҳосил бўладиган зарядларнинг алгебраик йиғиндиси нимага тенг? 15. Электр зарядининг сақланиш қонунини айтинг? 16. Ёпиқ система деб қандай системага айтилади? 17. Электр зарядининг миқдори саноқ системасининг танланишига боғлиқми? 18. Электр зарядининг СИ даги бирлиги қандай?

61- § . Кулон қонуни

Ш. Кулон

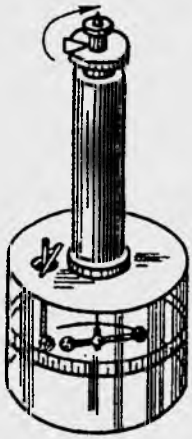
(1736—1806)

М а з м у н и : нуқтавий заряд тушунчаси; Кулон қонуни, Кулон кучининг йўналиши, пропорционаллик коэффициенти ва электр доимийси.

Нуқтавий заряд. Электродинамикада ҳам турли моделлардан фойдаланиш мақсадга мувофиқдир. Улардан бири нуқтавий заряд тушунчасидир. Нуқтавий заряд деб, ўлчамлари таъсири ўрганилаётган масофага нисбатан эътиборга олинмайдиган даражада кичик бўлган, зарядланган жисмга айтилади. У ҳам худди моддий нуқта каби идеаллаштирилган тушунчадир.

Кулон қонуни. Ҳаракатсиз нуқтавий зарядлар орасидаги ўзаро таъсир кучи 1785 йилда француз физиги Ш. Кулон томонидан аниқланган. У ҳам ўз тажрибасини Г. Кавендеш гравитацион доимийсини аниқлашда фойдаланган асбобга ўхшаш, буралма тарозн ёрдамида бажарган (89- расм).

Қуйи қисмида шиша таёқча осилган ингичка эластик ип шиша цилиндр ичида ўрнатилган. Ипнинг юқори учи бурилиш бурчагини аниқлашга имкон берувчи даражаланган қурилмага бириктирилган. Осиб қўйилган шиша таёқчанинг бир учида кичкина металл шарча, иккинчи учида эса посанги бириктирилган. Идиш қопқоғидаги тешикча орқали худди шундай бошқа шарчани ҳам киритиш мумкин. Агар шарчаларга заряд берилса, улар ўзаро таъсирлашишади ва ипнинг бурилиш бурчагига қараб таъсир кучини баҳолаш имкони туғилади.



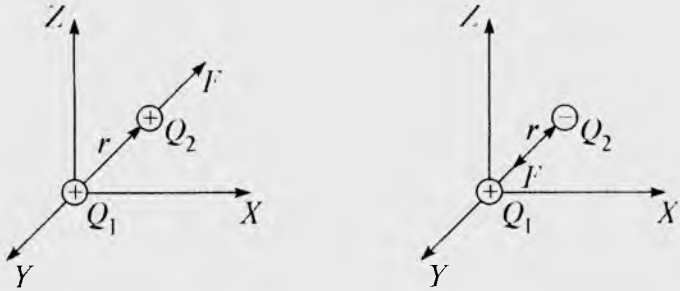
89- расм.

Кулон қонуни: Бўшлиқдаги иккита ҳаракатсиз нуқтавий заряд орасидаги ўзаро таъсир кучи $\vec{F}$ улар зарядлари Q_1 ва Q_2 ларнинг кўпайтмасига тўғри, ораларидаги масофа r нинг квадратига эса тескари пропорционал:

$$F = k\frac{|Q_1||Q_2|}{r^2}, \qquad (61.1)$$

бу ерда k — бирликлар системасининг танланишига боғлиқ бўлган пропорционаллик коэффициенти.

Кулон кучининг йўналиши. $\vec{F}$ куч ўзаро таъсирлашувчи зарядларни туташтирувчи тўғри чизиқ бўйлаб йўналган бўлиб, турли исмли зарядлар учун тортишиш ($F < 0$), бир хил исмли зарядлар учун эса итариш ($F > 0$) характерига эга бўлади (90- расм).



90- расм.

Кулон қонунини вектор кўринишда қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\vec{F} = k\frac{Q_1Q_2}{r_2}\frac{\vec{r}}{r}. \qquad (61.2)$$

Пропорционаллик коэффициенти. СИ да пропорционаллик коэффициенти қуйидагига тенг:

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9\cdot 10^9\ \frac{\text{м}}{\text{ф}}, \qquad (61.3)$$

бу ерда фарад (Ф) — электр сиғимининг бирлиги. Унда Кулон қонуни қуйидаги кўринишни олади:

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{Q_1Q_2}{r_2}, \qquad (61.4)$$

бу ерда ε_0 га электр доимийси дейилади. У табиатнинг фундаментал катталикларидан бири бўлиб, қуйидагига тенг:

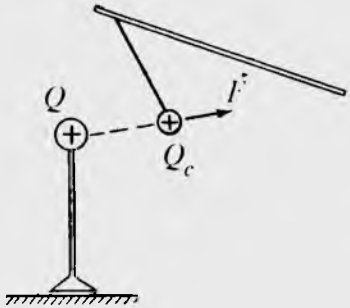
$$\varepsilon_0 = 8{,}85\cdot 10^{12}\ \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н}\cdot\text{м}^2} = 8{,}85\cdot 10^{-12}\ \frac{\text{Ф}}{\text{м}}. \qquad (70.5)$$

Синов саволлари

1. Нуқтавий заряд деб қандай зарядга айтилади ва у аниқми ? 2. Кулон қонуни нима ҳақида? 3. Кулон қонуни. 4. Кулон тажрибасини тушунтиринг. 5. Кулон кучининг йўналиши қандай бўлади? 6. Зарядлар орасидаги итариш кучи қандай характерга эга? 7. СИ да Кулон қонунидаги пропорционаллик коэффициенти нимага тенг ? 8. Электр доимийсининг қиймати нимага тенг?

62- §. Электростатик майдон. Электростатик майдон кучланганлиги

М а з м у н и: Электростатик майдон тушунчаси; электростатик майдон кучланганлиги; электростатик майдон кучланганлигининг бирлиги; кучланганлик чизиқлари; бир жинсли майдон.



91- расм.

Электростатик майдон. Агар электр заряди яқинига бошқа заряд келтирилса, унга кулон кучи таъсир қилади. (91- расм). Демак, заряд атрофида майдон мавжуд экан. Бу майдонга *электр майдон* дейилади. Агар заряд ҳаракатсиз бўлса, майдонга *электростатик майдон* дейилади.

Электростатик майдон вақт ўтиши билан ўзгармайди ва уни фақат электр заряди вужудга келтиради. Электр майдон ҳам материянинг махсус кўринишларидан бири бўлиб, у электр зарядига боғланган ва зарядларнинг бир-бирига ўзаро таъсирини узатади. 91- расмда Q заряд ҳосил қилган майдонга Q_c заряд киритилган ҳол кўрсатилган. Бу ерда Q_c заряд синаш заряди вазифасини ўтайди. Одатда синаш заряди сифатида мусбат заряд олинади. Шу билан бирга синаш зарядининг майдони жуда кичик ва у ўрганилаётган майдонни бузолмайди деб ҳисобланади. Q заряднинг майдонига киритилган Q_c синаш зарядига

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q\,Q_c}{r^2}\frac{\vec{r}}{r} \qquad (62.1)$$

куч таъсир қилади.

Электростатик майдон кучланганлиги. (62.1) ифодадан кўриниб турибдики, $\frac{\vec{F}}{Q_c}$ нисбат синаш зарядининг қийматига боғлиқ бўлмай майдоннинг у турган нуқтасини характерловчи катталик бўлади. Бу катталик *кучланганлик* дейилиб, у электростатик майдоннинг куч характеристикасидир.

Электростатик майдоннинг шу нуқтасининг *кучланганлиги* деб, унда жойлаштирилган бирлик мусбат зарядга таъсир этувчи куч билан аниқланадиган катталикка айтилади:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q_c}. \qquad (62.2)$$

(62.1) ва (62.2) лар асосида бўшлиқдаги нуқтавий заряд электростатик майдон кучланганлигини топамиз:

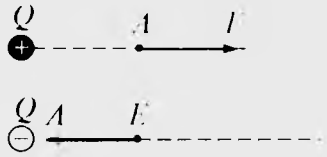
$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r^2}\frac{\vec{r}}{r} \qquad (62.3)$$

ёки скаляр кўринишда:

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r^2} \qquad (62.4)$$

бу ерда $\vec{E}$ вектор катталик бўлиб, унинг йўналиши майдонга киритилган мусбат зарядга таъсир этувчи куч йўналиши билан мос

келади. Агар майдонни мусбат заряд ҳосил қилса, $\vec{E}$ ташқарига (синаш зарядини итариш томонга), агар майдонни манфий заряд ҳосил қилса, $\vec{E}$ заряд томонга (синаш зарядини тортиш томонга) йўналган бўлади.



92- расм.

92- расмда мусбат ва манфий зарядларнинг A нуқтада ҳосил қилган майдон кучланганликлари кўрсатилган.

Электростатик майдон кучланганлигининг бирлиги. (62.2) ифодадан кўриниб турибдики, СИ да электр майдон кучланганлигининг бирлиги: $1\frac{Н}{Кл}$.

$$[E]=\frac{[F]}{[Q]}=1\frac{Н}{Кл}=1\frac{В}{м}.$$

$1\frac{Н}{Кл}$ — майдоннинг шундай нуқтасининг кучланганлигики, унда жойлаштирилган 1 Кл нуқтавий зарядга 1Н куч таъсир этади. Кўпинча кучланганликнинг $1\frac{В}{м}=1\frac{Н}{Кл}$ бирлигидан ҳам фойдаланилади. Бу ерда В (вольт) — электростатик майдон потенциалининг бирлиги.

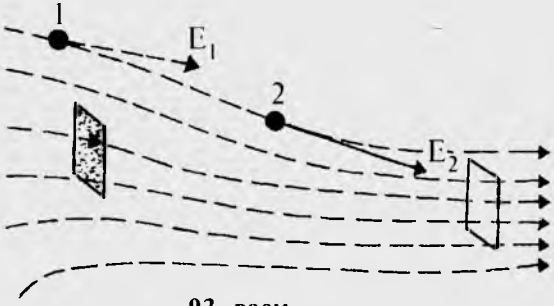
Кучланганлик чизиқлари. Электр майдонни кучланганлик чизиқлари ёрдамида график равишда тасвирлаш анча қулайдир.

Майдоннинг куч чизиқлари ёки кучланганлик чизиқлари деб, ҳар бир нуқтасига ўтказилган уринма майдоннинг шу нуқтасининг кучланганлик вектори йўналиши билан мос келувчи чизиқларга айтилади. (93- расм)

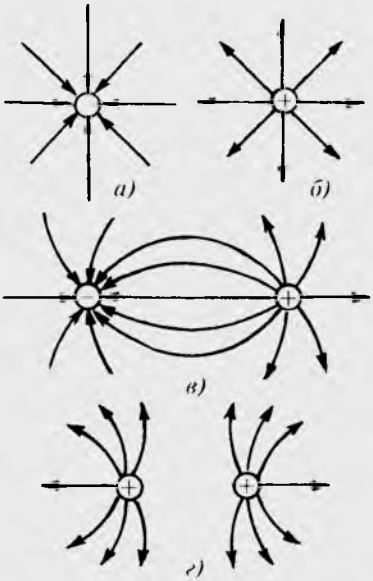
Кучланганлик чизиқлари ҳеч қачон кесишмайди. Ёпиқ чизиқ характерига эга эмас. Уларнинг бошланиш ва тугаш нуқталари мавжуд ёки чексизликка бориб туташади.

Бу хусусиятлар табиатда икки хил электр заряди мавжудлигининг натижасидир.

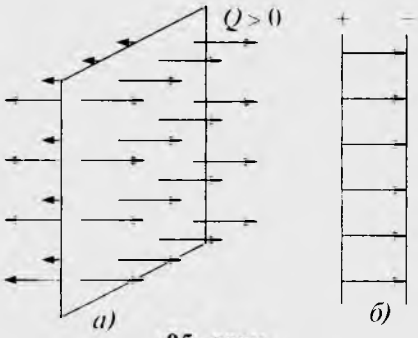
Шартли равишда кучланганлик чизиқлари мусбат зарядлан чиқувчи ва манфий зарядга кирувчи деб қабул қилинган (94- расм).



93- расм.



94- расм.



95- расм.

Электростатик майдон кучланганлигининг нафақат йўналиши ва балки қийматини ҳам характерлаш учун куч чизиқларини маълум қалинликда ўтказишга келишилган. Электростатик майдон кучлироқ бўлган жойда кучланганлик чизиқлари қалинроқ ва аксинча майдон кучсизроқ бўлган жойда кучланганлик чизиқлари сийракроқ бўлади.

Бир жинсли майдон. Барча нуқталарида майдон кучланганлигининг ҳам йўналиши, ҳам катталиги бир хил бўлган ($\vec{E} = const$) электр майдон *бир жинсли майдон* дейилади.

Бир жинсли майдонга бир текис зарядланган текислик (95- *а* расм) ва ясси конденсатор қопламалари чеккасидан узоқроқдаги электр майдонлари (95- *б* расм) мисол бўла олади.

Синов саволлари

1. Электр заряди атрофида майдон мавжудлигини қандай аниқлаш мумкин ? 2. Электростатик майдон деб қандай майдонга айтилади? 3. Электростатик майдон вақт ўтиши билан ўзгарадими? 4. Электр майдони материянинг бирор турими ёки йўқми? 5.Синаш заряди деб қандай зарядга айтилади? 6. Майдонга киритилган синаш зарядига қандай куч таъсир этади? 7. Электростатик майдон кучланганлиги деб қандай катталикка айтилади? 8. Кучланганлик синаш зарядининг миқдорига боғлиқми? 9. Кучланганлик электростатик майдоннинг қандай характеристикаси? 10. Нуқтавий зарядниинг электростатик майдон кучланганлиги ва унинг йўналишига таъриф беринг. 11. Мусбат ва манфий нуқтавий зарядлар майдонлари кучланганликларининг йўналишлари тўғрисида нима биласиз? 12. Электростатик майдон кучланганлигининг бирлиги. 13. Кучланганлик чизиқлари деб қандай чизиқларга айтилади? 14. Кучланганлик чизиқлари тушунчаси нима мақсадда киритилади? 15. Электростатик майдон куч чизиқлари қаерда кесишади? 16. Электростатик майдон куч чизиқлари

қаерда бошланиб, қаерда тугайди? 17. Электростатик майдон куч чизиқларининг бошланиш ва тугаш нуқталарининг мавжудлиги нимани кўрсатади? 18. Кучланганлик чизиқлари электростатик майдон кучланганлигининг қийматини характерлай оладими? 19. Бир жинсли майдон деб қандай майдонга айтилади? 20. Бир жинсли майдонга мисол келтиринг.

63- §. Электростатик майдон учун суперпозиция принципи. Дипол майдони

Мазмуни: электростатик майдон учун суперпозиция принципи; икки заряд майдонининг кучланганлиги; дипол майдони.

Суперпозиция принципи. Q_1, Q_2, ...Q_n ҳаракатсиз зарядлар системаси ҳосил қиладиган электростатик майдоннинг ҳар бир нуқтасида кучланганлик вектори $\vec{E}$ нинг қиймати ва йўналишини аниқлаш керак бўлсин. Бунинг учун механика бўлимида фойдаланилган кучлар таъсирининг мустақиллик принципидан фойдаланамиз, яъни синаш заряди Q_c га майдон томонидан таъсир этадиган $\vec{F}$ куч унга ҳар бир Q_i заряд томонидан кўрсатиладиган $\vec{F}_i$ кучларнинг векториал йиғиндисига тенг:

$$\vec{F} = \sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \ldots \vec{F}_n . \qquad (63.1)$$

Агар $\vec{F} = Q_c \vec{E}$, $\vec{F}_1 = Q_c \vec{E}_1$, $\vec{F}_2 = Q_c \vec{E}_2, \ldots,$ $\vec{F}_n = Q_c \vec{E}_n$ лигини назарда тутсак ва уларни (63.1) га қўйсак, қуйидагига эга бўламиз:

$Q_c \cdot \vec{E} = Q_c \vec{E}_1 + Q_c \vec{E}_2 + \ldots + Q_c \vec{E}_n = \sum_{i=1}^{n} \left(Q_c \vec{E}_i \right) \; Q_c \sum_{i=1}^{n} \vec{E}_i$ бу ерда $\vec{E}$ — натижавий майдон кучланганлиги, $\vec{E}_i$ лар ҳар бир заряд ҳосил қилган майдон кучланганликлари.

Ифодани Q_c га қисқартирамиз:

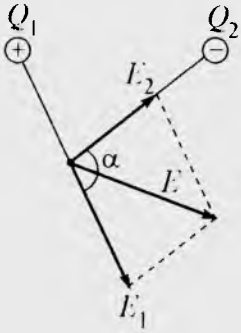
$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \ldots + \vec{E}_n = \sum_{i=1}^{n} \vec{E}_i \qquad (63.2)$$

(63.2) электростатик майдон учун *суперпозиция принципи* дейилади. Зарядлар системаси ҳосил қиладиган майдон кучланганлиги $\vec{E}$ шу нуқтада ҳар бир заряд алоҳида ҳосил қиладиган майдонлар кучланганликларининг геометрик йиғиндисига тенг.

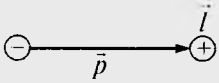
Суперпозиция принципи исталган ҳаракатсиз зарядлар системасининг электростатик майдонини ҳисоблашга имкон беради.

Икки заряд майдонининг кучланганлиги. Энг содда ҳол иккита заряд ҳосил қилган майдоннинг *A* нуқтадаги кучланганлигини аниқлашдир. Суперпозиция принципига асосан:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2, \qquad (63.3)$$



96- расм.



97- расм.

бу ерда $\vec{E}$ — зарядлар системасининг A нуқтадаги кучланганлиги, $\vec{E}_1$, ва $\vec{E}_2$ лар мос равишда Q_1 ва Q_2 зарядларнинг шу нуқтада ҳосил қилган майдон кучланганликлари. $\vec{E}$ векторнинг модули косинуслар теоремасига асосан аниқланади:

$$E = \sqrt{E_1 + E_2 + 2E_1E_2 \cos\alpha}, \qquad (63.4)$$

бу ерда α — $\vec{E}_1$ ва $\vec{E}_2$ векторлар орасидаги бурчак (96- расм).

Дипол. Электр диноли деб қийматлари тенг, ишоралари турли, бир-биридан l масофада жойланган иккита зарядлар иборат системага айтилади. Зарядларни туташтирувчи l кесма дипол ўқи дейилиб, у қурилаётган майдон нуқтасигача бўлган масофага нисбатан жуда кичиқдир (97- расм).

Дипол ўқи бўйлаб манфий зарядлар мусбат зарядга қараб йўналган ва катталиги дипол ўқига тенг бўлган вектор дипол елкаси $\vec{l}$ дейилади.

Йўналиши динол елкасининг йўналиши билан мос келувчи ва заряд $|Q|$ нинг елка $\vec{l}$ га кўпайтмаси билан аниқланувчи

$$\vec{P} = |Q|\vec{l} \qquad (63.5)$$

катталик диполнинг *электр моменти* ёки *дипол моменти* дейилади.

Синов саволлари

1. Суперпозиция принципидан фойдаланишнинг нима зарурати бор? 2. Кучлар учун суперпозиция принципи нима? 3. Электростатик майдон учун суперпозиция принципи қандай? 4. Электростатик майдон учун суперпозиция принципи қандай имкониятлар яратади? 5. Икки заряд электростатик майдонларининг бирор нуқтада ҳосил қилган кучланганлиги нимага тенг? 6. Шу кучланганликнинг модули нима? 7. Электр диполи деб нимага айтилади? 8.Дипол ўқи деб нимага айтилади? 9. Дипол елкаси деб нимага айтилади? 10. Дипол моменти деб нимага айтилади?

64- §. Электростатик майдон кучларининг иши

Мазмуни: зарядни кўчиришда бажарилган иш; электростатик майдоннинг потенциал майдон эканлиги.

Зарядни кўчиришда бажарилган иш. Нуқтавий Q заряд стационар (вақт ўтиши билан ўзгармайдиган) электр майдонда жойлаштирил-

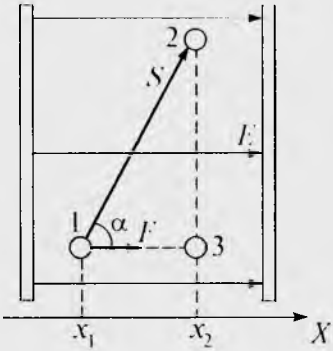
ган бўлсин. Майдон кучлари зарядни кўчириб иш бажаради. $\vec{F}$ куч таъсирида Q заряд $\vec{r}$ га кўчсин. Унда бажарилган иш

$$A = \left(\vec{F} \cdot \vec{r}\right) \qquad (64.1)$$

ифода ёрдамида аниқланади. (64.1) дан

$$A = F \cdot S \cdot \cos\alpha \qquad (64.2)$$

ифодани ҳосил қиламиз. Бу ерда α — куч ва кўчиш векторлари орасидаги бурчак, $|r| = S$ — заряд кўчган йўл.



98- расм.

Агар майдон бир жинсли бўлса, (E = const), унда зарядга таъсир этадиган майдон кучлари $F = QE$ ҳам ўзгармас бўлади. Бу ҳолда иш

$$A = Q \cdot E \cdot S \cdot \cos\alpha \qquad (64.3)$$

кўринишни олади.

Энди зарядни $\vec{E}$ кучланганликли бир жинсли электростатик майдонда 1- нуқтадан 2- нуқтага кўчишда бажарилган ишни ҳисоблайлик. Заряд 2- нуқтага турли траекториялар орқали кўчиши мумкин. Соддалик учун уларнинг иккитаси: 1-2 ва 1-3-2 ларни кўрамиз (98- расм).

Ҳар иккала ҳол учун ҳам бажарилган ишни ҳисоблаб, натижаларни солиштирайлик. 1-2 траектория учун $S\cos\alpha = x_2 - x_1$ эканлигини ҳисобга олсак, (64.3) ифода ёрдамида топамиз:

$$A_{12} = Q \cdot E(x_2 - x_1). \qquad (64.4)$$

A_{132} ишни эса A_{13} ва A_{32} ишларнинг йиғиндиси сифатида қараш мумкин:

$$A_{132} = A_{13} + A_{32}$$

(64.3) ифодага асосан:

$$A_{13} = QE(x_2 - x_1)$$

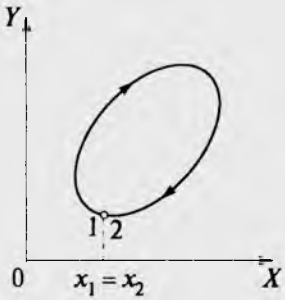
чунки 1-3 йўналишда кўчиш ва кучланганлик векторининг йўналишлари мос келиб, $\alpha = 0$, $\cos\alpha = 1$, $A_{32} = 0$ бўлади, чунки 3-2 йўналишда кўчиш ва кучланганлик векторининг йўналишлари ўзаро перпендикуляр бўлиб, $\alpha = \pi/2$, $\cos\alpha = 0$.

Шундай қилиб,

$$A_{132} = QE(x_2 - x_1) \qquad (64.5)$$

ифодани ҳосил қиламиз.

Электростатик майдоннинг потенциал майдон эканлиги. (64.4) ва (64.5) ларни солиштириб, $A_{12} = A_{132} = QE(x_2 - x_1)$ эканлигидан, электростатик майдонда зарядни кўчиришда бажарилган иш кўчиш тра-



99- расм.

екториясига эмас, балки бошланғич ва охирги ҳолатларга боғлиқ, деган ҳулосага келамиз. Бундай хусусиятга эга майдонлар эса *потенциал майдон* дейилади. Демак, электростатик майдон хам гравитацион майдон каби потенциал майдон, электростатик кучлар эса консерватив кучлар бўлади.

Электростатик майдоннинг потенциаллигидан зарядни ёпиқ контур бўйлаб ($x_2 = x_1$) кўчиришда бажарилган иш нолга тенглиги келиб чиқади (99- расм).

Синов саволлари

1. Электростатик майдонда зарядни кўчиришда бажарилган иш нимага тенг? 2. Ишнинг заряд миқдорига боғлиқлик формуласини келтиринг. 3. Зарядни кўчиришда бажарилган иш кучнинг йўналишига боғлиқми? 4. Зарядни кучланганлик векторига перпендикуляр йўналиш бўйлаб кўчиришда бажарилган иш нимага тенг? 5. Электростатик майдон қандай майдон? 6. Зарядни электростатик майдонда ёпиқ контур бўйлаб кўчиришда бажарилган иш нимага тенг?

65- §. Потенциал. Потенциаллар фарқи

М а з м у н и : потенциал; потенциаллар фарқи; зарядлар системасининг потенциали; потенциалнинг бирлиги.

Потенциал. Табиийки, потенциал майдондаги жисм потенциал энергияга эга бўлади ва майдон кучлари шу энергия ҳисобидан иш бажаради. Масалан, электростатик майдонда зарядни кўчиришда бажарилган иш шу заряд потенциал энергиясининг камайиши ҳисобига бажарилади. Яъни бажарилган иш заряднинг дастлабки ва кейинги потенциал энергияларининг фарқига тенг бўлади:

$$A_{12} = \Pi_1 - \Pi_2. \qquad (65.1)$$

Q заряд ҳосил қилган майдонда ундан r масофада бўлган Q_c синаш зарядининг потенциал энергияси қуйидаги ифода билан аниқланади:

$$\Pi = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{QQ_c}{r}. \qquad (65.2)$$

Бир хил ишорали зарядлар учун $QQ_c > 0$ ва уларнинг ўзаро таъсир (итариш) потенциал энергияси мусбат, турли ишорали зарядлар учун $QQ_c < 0$ ва уларнинг ўзаро таъсир (тортишиши) потенциал энергияси манфий бўлади.

(65.2) ифодадан

$$\frac{\Pi}{Q_c} = \frac{1}{4\pi\varepsilon}\frac{Q}{r} \qquad (65.3)$$

муносабатни аниқласак, у Q_C заряднинг миқдорига боғлиқ бўлмай, Q заряд электр майдонининг ундан r масофада турган нуқтасининг характеристикасидир. Бу катталик *потенциал* дейилади:

$$\varphi = \frac{\Pi}{Q_c}. \qquad (65.4)$$

Потенциал электростатик майдоннинг энергетик характеристикасидир. **Электростатик майдоннинг бирор нуқтасининг потенциали шу нуқтада турган бирлик мусбат заряднинг потенциал энергияси билан аниқланадиган физик катталикдир.**

(65.3) ифодадан кўриниб турибдики, Q нуқтавий заряд ҳосил қилган майдон потенциали

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r} \qquad (65.5)$$

ифода билан аниқланади.

Ушбу ифодадан Q заряд текис тақсимланган R радиусли шарнинг потенциалини аниқлашда ҳам фойдаланиш мумкин. Шарнинг ичидаги майдон потенциали ўзгармас ва

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{R}$$

бўлади.

Потенциаллар фарқи. Юқорида таъкидлаб ўтилганидек, Q_C зарядни 1- нуқтадан 2- нуқтага кўчирганда электростатик майдон кучлари томонидан бажарилган иш $A_{12} = \Pi_1 - \Pi_2$ каби аниқланади. Агар (65.4) ифодадан фойдалансак,

$$A_{12} = Q_C(\varphi_1 - \varphi_2) \qquad (65.6)$$

ни ҳосил қиламиз. Яъни бажарилган иш кўчириладиган заряд миқдорининг бошлангич ва охирги нуқталардаги потенциаллар фарқига кўпайтмасига тенг.

Электростатик майдоннинг иккита 1- ва 2- нуқталари орасидаги потенциаллар фарқи бирлик мусбат зарядни 1- нуқтадан 2- нуқтага кўчиришда майдон кучлари томонидан бажарилган иш билан аниқланади.

Энди Q_C зарядни майдоннинг ихтиёрий нуқтасидан майдон ташқарисига, яъни чексизлика (потенциали нолга тенг бўлган нуқтага) кўчиришда электростатик майдон кучлари бажарган ишни кўрайлик. Демак, $\varphi_2 = 0$ ва $\varphi_1 = \varphi$ деб оламиз. Унда (6) га асосан:

$$A_\infty = Q_C\varphi.$$

Бундан

$$\varphi = \frac{A_\infty}{Q_c}. \qquad (65.7)$$

Демак, майдоннинг шу нуқтасининг потенциали бирлик мусбат зарядни майдоннинг шу нуқтасидан чексизликка кўчиришда бажарилган иш билан аниқланувчи физик катталикдир.

Зарядлар системасининг потенциали. Агар майдон n та нуқтавий $Q_1, Q_2, ..., Q_n$ зарядлар системаси томонидан ҳосил қилинса, шу майдонда турган Q_C заряднинг потенциал энергияси Π, унинг ҳар бир заряд вужудга келтирган Π_i потенциал энергияларининг йиғиндисига тенг бўлади, яъни

$$\Pi = \sum_{i=1}^{n} \Pi_i = Q_c \sum_{i=1}^{n} \frac{Q_i}{4\pi\varepsilon_0 r_i} \qquad (65.8)$$

(65.4) га асосан:

$$\varphi = \sum_{i=1}^{n} \varphi_i = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \sum_{i=1}^{n} \frac{Q_i}{r_i}. \qquad (65.9)$$

Демак, майдонни бир қанча зарядлар системаси ҳосил қиладиган бўлса, бундай майдон потенциали ҳар бир заряд майдони потенциалларининг алгебраик йиғиндисига тенг бўлади.

Потенциал бирлиги. СИ да потенциал бирлиги сифатида вольт (B) қабул қилинган:

$$[\varphi] = \frac{[\Pi]}{[Q]} = 1\,\frac{Ж}{Кл} = 1В.$$

1 Вольт — майдоннинг 1 кулон заряд 1 жоул потенциал энергияга эга бўладиган нуқтасининг потенциалидир. У италиялик физик А. Вольта шарафига шундай номланган. Шунингдек, потенциаллар фарқи (кучланиш) ҳам вольтларда ўлчанади.

Синов саволлари

1. Электростатик майдондаги заряд қандай энергияга эга бўлади? 2. Электростатик майдонда зарядни кўчиришда бажарилган иш нимани-нинг ҳисобига бажарилади? 3. Электростатик майдонда зарядни кўчиришда бажарилган иш нимага тенг? 4. Электростатик майдонда жойлаштирилган синаш зарядининг потенциал энергияси нимага тенг? 5. Электростатик майдоннинг бирор нуқтасининг потенциали нимага тенг? 6. Майдон потенциали заряд миқдорига боғлиқми? 7. Майдон потенциали вектор катталикми? 8. Нуқтавий заряднинг майдон потенциали нимага тенг? 9. Заряди текис тақсимланган шарнинг ичидаги потенциал нимага тенг? 10. Зарядни кўчиришда бажарилган иш потенциаллар фарқига боғлиқми? 11. Икки нуқта орасидаги потенциаллар фарқи нимага тенг? 12. Майдон бирор нуқтасининг потенциалини яна қандай таърифлаш мумкин? 13. Зарядлар системаси ҳосил қилган майдондаги синаш зарядининг потенциал энергияси нимага тенг? 14. Зарядлар системаси ҳосил қилган майдоннинг потенциали нимага тенг? 15. СИ да потенциал бирлиги нима ва у қандай потенциал?

66- §. Электростатик майдон кучланганлиги ва потенциаллари фарқи орасидаги боғланиш. Эквипотенциал сиртлар

Мазмуни: кучланганлик ва потенциаллар фарқи орасидаги боғланиш; эквипотенциал сиртлар.

Биз электростатик майдоннинг икки хил: куч (кучланганлик $\vec{E}$) ва энергетик (потенциал φ) характеристикаларини кўрдик. Шундай қилиб, майдоннинг исталган бирор нуқтаси ҳам кучланганлик, ҳам потенциал билан характерланар экан. Демак, катталиклар орасида маълум боғланиш бўлиши керак. Бунинг учун зарядни x ўқи бўйлаб Δx масофага кўчиришда майдон кучлари (E_x) бажарган ишни ҳисоблайлик (100- расм). (64.4) га асосан:

$$A = Q \cdot E_x \cdot \Delta x. \qquad (66.1)$$

Иккинчи томондан, бу ишни потенциал орқали ифодаласак:

$$A = Q(\varphi_1 - \varphi_2) = -Q(\varphi_2 - \varphi_1) = -Q\Delta\varphi \qquad (66.2)$$

га эга бўламиз.

Ударни тенглаштириб, $E_x \cdot \Delta x = -\Delta\varphi$ ёки

$$E_x = -\frac{\Delta\varphi}{\Delta x} \qquad (66.3)$$

ифодани ҳосил қиламиз.

Ҳу ғли шунинг ек, зарядни y ва z ўқлари бўйлаб кўчириб,

$$E_y = -\frac{\Delta\varphi}{\Delta y}, \quad E_z = -\frac{\Delta\varphi}{\Delta z} \qquad (66.4)$$

ларни ҳосил қилиш мумкин.

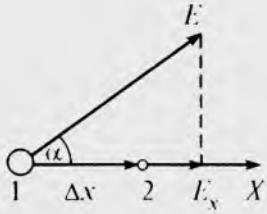
Шундай қилиб, ҳар бир нуқтадаги майдон кучланганлиги маълум бўлса, исталган нуқталар орасидаги потенциаллар фарқини ҳисоблаш мумкин.

(75.3) ва (75.4) ифодалардан кўриниб турибдики, майдоннинг бирор нуқтасининг кучланганлиги шу нуқтада потенциал ўзгариш тезлигининг манфий ишора билан олинганига тенг. Манфий ишора кучланганлик вектори $\vec{E}$ потенциалнинг камайиш томонига йўналганлигини кўрсатади. Бир жинсли майдон ҳолида (масалан ясси конденсаторлар майдони) кучланганлик қуйидаги ифода билан аниқланади:

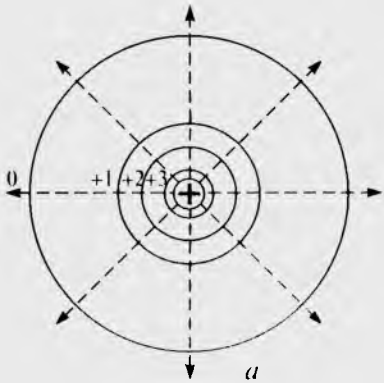
$$E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d}, \qquad (66.5)$$

бу ерда d — конденсатор қопламлари орасидаги масофа, $\varphi_1 - \varphi_2$ потенциаллар фарқи.

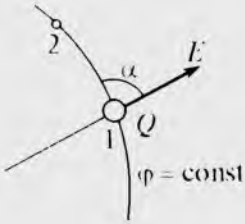
Эквипотенциал сиртлар. Электр майдонни график равишда нафақат кучланганлик чизиқлари, балки тенг потенциалли сиртлар



100- расм.



а



б

101- расм.

орқали ҳам ифодалаш мумкин. *Эквипотенциал сиртлар* деб бир хил потенциалли нуқталар тўпламига айтилади. Бу сиртлар чизмада тенг потенциалли чизиқлар сифатида тасвирланади. 101- *а* расмда нуқтавий мусбат заряд майдонининг тенг потенциалли чизиқлари кўрсатилган. Бу заряд атрофида чексиз кўп бундай чизиқларни ўтказиш мумкин. Бу чизиқларни ораларидаги потенциаллар фарқи бир хил (мисол учун 1*В*) қилиб чизиш мақсадга мувофиқ.

Шундагина тенг потенциалли чизиқлар мазкур майдонда потенциаллар фарқи қандай ўзгаришини кўрсата олади.

Энди Q зарядни тенг потенциалли сирт бўйлаб 1- нуқтадан 2- сига кўчиришда майдон кучларининг бажарган ишини кўрайлик, уни қуйидагича ҳисоблаш мумкин:

$$A = Q(\varphi_1 - \varphi_2).$$

Тенг потенциалли сиртларда $\varphi_1 - \varphi_2$ лигида $\varphi_1 - \varphi_2 = 0$, ва демак,

$$A = 0. \qquad (66.6)$$

Демак, тенг потенциалли сирт бўйлаб зарядни кўчиришда бажарилган иш нолга тенг бўлар экан.

Иккинчи томондан, бажарилган ишни $A = F \cdot x \cdot cos\alpha = Q \cdot E \cdot x \cdot cos\alpha = Q \cdot E_x \cdot x$ кўринишда ёзиш мумкин (101- *б* расм). Бу ерда $E_x = E \cdot cos\alpha$ кучланганликнинг кўчиш йўналишидаги проекцияси, x кўчиш катталиги (66.6) га асосан

$A = Q \cdot E_x \cdot x = 0$ бўлиши керак. Q ва x лар нолга тенг бўлмаганидан ягона имконият $E_x = E \cdot cos\alpha = 0$ қолади. Демак, $cos\alpha = 0$,

$\alpha = \frac{\pi}{2}$. Бошқача айтганда, кучланганлик вектори $\vec{E}$ ва кучиш нуқтасини ўзаро перпендикуляр экан. Шундай қилиб майдон кучланганлигининг вектори тенг потенциалли сиртнинг ҳар бир нуқтасига перпендикуляр ва потенциал камайиши томонга йўналган.

Синов саволлари

1. Нимага асосан майдон кучланганлиги ва потенциаллар фарқи орасида боғланиш мавжуд деб ҳисобланади? 2. Майдон кучланганлиги ва потенциаллар фарқи орасидаги боғланишни айтиб беринг. 3. Кучланганлик вектори қайси томонга қараб йўналган? 4. Бир жинсли майдонда кучланганлик ва потенциаллар фарқи орасидаги боғланиш мавжудми? 5. Тенг потенциалли сиртлар деб қандай сиртларга айтилади? 6. Тенг потенциалли сиртларни чизмада кўрсатиб беринг? 7.Тенг потенциалли сиртлар потенциаллар фарқи қандай ўзгаришини кўрсата оладими? 8. Зарядни тенг потенциалли сирт бўйлаб кўчиришда бажарилган иш нимага тенг? Жавобингизни исботланг.

67- §. Диэлектриклар. Диэлектрикларнинг қутбланиши

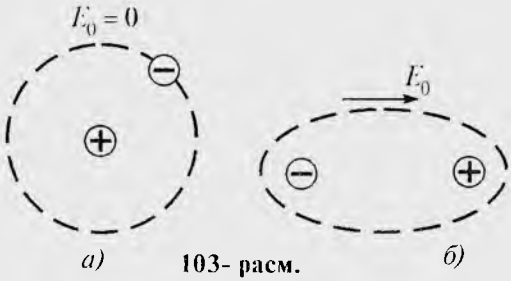
Мазмуни: диэлектриклар; диэлектрикларнинг қутбланиши; қутбланганлик; диэлектрик сингдирувчанлик.

Диэлектриклар. Юқорида қайд этилганидек, диэлектриклар деб эркин электронлари мавжуд бўлмаган моддаларга айтилса-да, улар ҳамма моддалар каби атомлар ва молекулалардан ташкил топган. Агар молекулалар ядроларидаги мусбат зарядларни мусбат зарядлар «оғирлик» марказида ётган зарядлар йиғиндиси $+Q$, барча электронларнинг зарядини эса манфий зарядларнинг «оғирлик» марказида бўлган манфий зарядлар йиғиндиси $-Q$ билан алмаштирсак, унда молекулани $\vec{P} = Q \cdot \vec{l}$ электр моментига эга бўлган электр диполь сифатида қараш мумкин (102-расм).

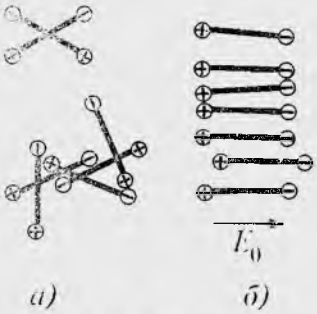
Тузилишига қараб диэлектриклар уч гуруҳга бўлинади. Биринчи гуруҳ диэлектрикларга молекулалари симметрик тузилишга эга, яъни ташқи майдон бўлмаганда мусбат ва манфий зарядларнинг оғирлик марказлари мос келадиган диэлектриклар киради. Табиийки, бундай диэлектрик молекулаларининг дипол моментлари нолга тенг бўлади ва уларга қутбланмаган молекулалар дейилади. Қутбланмаган молекулали диэлектрикларга бензол, парафин, полиэтилен, водород, кислород, азот ва бошқалар киради.

Иккинчи гуруҳ диэлектрикларга молекулалари асимметрик тузилишга эга, яъни мусбат ва манфий зарядларнинг оғирлик марказлари мос келмайдиган диэлектриклар киради. Бундай диэлектрикларнинг молекулалари ташқи майдон бўлмаганда ҳам

102- расм.



103- расм.



104- расм.

дипол моментига эга бўлади ва молекулаларига қутбланган дейилади. Ташқи майдон бўлмаганда қутбланган молекулаларнинг дипол моментлари иссиқлик ҳаракати натижасида бетартиб йўналган бўлиб, уларнинг натижавий моменти нолга тенг бўлади. Иккинчи гуруҳ диэлектрикларга фенол, нитробензол, сув, аммиак, ис гази ва бошқалар киради.

Учинчи гуруҳ диэлектрикларга молекулалари ион тузилишига эга моддалар киради. Бундай моддаларнинг тузилиши турли ишорали ионлар батартиб такрорланадиган фазовий панжарадан иборат. Шунинг учун ҳам уларда молекулаларини алоҳида ажратиш имкони бўлмай, бир-бири томон силжиган ион панжараларнинг системасини қараш мумкин. Бундай диэлектрикларга ош тузи, калий хлорид, цезий хлорид ва бошқалар киради.

Қутбланиш. Диэлектриклар ташқи электр майдонга киритилса, уларда нолдан фарқли электр моменти вужудга келади. Бошқача айтганда, диэлектриклар қутбланади. *Қутбланиш* деб ташқи электр майдони таъсирида диэлектриклаги диполларнинг майдон бўйлаб жойлашиб қолишига ёки майдон бўйлаб жойлашган диполларнинг вужудга келишига айтилади.

Диэлектрикларнинг уч турига мос равишда қутбланиш ҳам уч турга ажратилади.

1. Электрон қутбланиш. Қутбланмаган молекула (103- *а* расм) электр майдонига киритилса, майдон таъсирида электрон орбиталарининг деформацияланиши рўй бериб, атомларда дипол моментлари вужудга келади (103- *б* расм).

2. Дипол (йўналиш бўйича жойлашиб) қутбланиш. Бетартиб ҳаракатда бўлган қутбланган молекулаларнинг диполлари (104- *а* расм) ташқи майдон бўйлаб батартиб жойлашиб қолади (104- *б* расм).

3. Ионли қутбланиш. Ташқи майдон таъсирида кристалл панжарадаги мусбат ионларнинг майдон бўйлаб, манфий ионларнинг эса қарама-қарши томонга силжиши рўй беради.

Қутбланганлик. Демак, диэлектрик ташқи майдонга киритилганда қутбланади, яъни нолдан фарқли дипол моментига эга бўлиб қолади. Диэлектрикнинг дипол моменти қуйидагича аниқланади:

$$\vec{P}_V = \sum_{i=1}^{n} \vec{P}_i = \vec{P}_1 + \vec{P}_2 + \ldots + \vec{P}_n, \qquad (67.1)$$

бу ерда $\vec{P}_i$ битта молекуланинг дипол моменти, n — диэлектрикдаги молекулалар сони.

Демак, диэлектрикнинг дипол моменти ундаги молекулалар дипол моментларининг геометрик йиғиндисига тенг бўлар экан.

Диэлектрикнинг кўп ёки кам қутбланганлигини баҳолаш учун *қутбланганлик* дейилувчи вектор катталикдан фойдаланилади. Қутбланганлик деб диэлектрикнинг бирлик ҳажмига тўғри келувчи дипол моменти билан аниқланадиган катталикка айтилади:

$$\vec{P} = \frac{\vec{P}}{V} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \vec{P}_i}{V}, \qquad (67.2)$$

бу ерда V — диэлектрикнинг ҳажми.

Изотроп диэлектриклар учун қутбланганлик қўйилган майдон кучланганлигига пропорционал:

$$\vec{P} = \varepsilon_0 \chi \vec{E} \qquad (67.3)$$

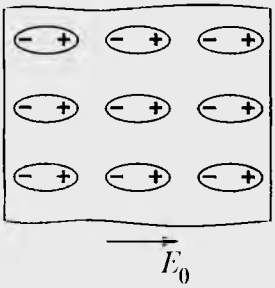
бу ерда χ — диэлектрик қабул қилувчанлик дейилиб, модданинг турига ва температурасига боғлиқ. У бирликсиз катталик бўлиб, қиймати доимо нолдан катта

$$\chi > 0$$

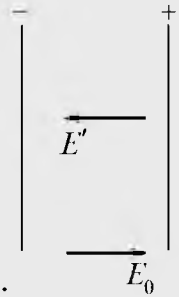
Демак, қутбланганлик $\vec{P}$ доимо диэлектрик турган ташқи электр майдони $\vec{E}$ бўйлаб йўналган бўлади.

Диэлектрик синдирувчанлик. Қутбланиш натижасида диэлектрик қирраларида қутби диполлар билан компенсацияланмаган зарядлар пайдо бўлади (105- расм). Диэлектрикнинг бир сиртида мусбат зарядлар, иккинчисида эса манфий зарядлар вужудга келиб, улар *боғланган зарядлар* дейилади. Боғланган зарядлар диэлектрик молекулаларига тегишли бўлиб, унинг сиртидан узоқлаштирилиши мумкин эмас. Диэлектрик ичида боғланган зарядлар томонидан вужудга келтириладиган электр майдон кучланганлиги $\vec{E}$ диэлектрикни қутблантирувчи ташқи электр майдон кучланганлиги $\vec{E}_0$ га қарама-қарши йўналган бўлади (106- расм). Демак, натижавий кучланганлик $\vec{E}$, муҳитнинг электрик хусусиятларига боғлиқ бўлиб, диэлектрикка қўйилган ташқи майдон кучланганлиги $\vec{E}_0$ га пропорционалдир:

$$\vec{E} = \frac{\vec{E}_0}{\varepsilon} \qquad (67.4)$$



105- расм.



106- расм.

$\varepsilon = \frac{\vec{E}_0}{E}$ бу ерда диэлектрик бўшлиқдаги майдон кучланганлигини неча марта кучсизлантиришини кўрсатади. У бирликсиз бўлиб, диэлектрикларнинг электр майдонида қутбланиш қобилиятларини миқдоран тавсифловчи катталик ҳисобланади. ε диэлектрик сингдирувчанлик дейилади. У диэлектрик қабул қилувчанлик билан қуйидагича боғланган:

$$\varepsilon = 1 + \chi. \qquad (67.5)$$

Қуйида баъзи моддаларнинг диэлектрик сингдирувчанлиги келтирилган.

6- жадвал

Модда	ε	Модда	ε
Тоза сув	81	Парафин	2,2
Ҳаво	1,0006	Слюда	6−8
Кварц	4,5	Шиша	6−10
Радиотехник чинни	80 гача	Эбонит	3
Трансформатор мойи	2,2	Каҳрабо	2,8

Синов саволлари

1. Диэлектриклар деб қандай моддаларга айтилади? 2. Диэлектрикнинг молекуласини электр диполи сифатида қараш мумкинми? 3. Бундай диполнинг электр моменти нимага тенг? 4. Биринчи гуруҳ диэлектриклар қандай диэлектриклар? Мисоллар келтиринг. 5. Иккинчи гуруҳ диэлектриклар қандай диэлектриклар? Мисоллар келтиринг. 6. Учинчи гуруҳ диэлектриклар қандай диэлектриклар? Мисоллар келтиринг. 7. Диэлектрикларнинг қутбланиши деб нимага айтилади? 8. Диэлектриклар нечта турли қутбланиши мумкин? 9. Электрон қутбланиш қандай рўй беради? 10. Дипол қутбланиш қандай рўй беради? 11. Ионли қутбланиш қандай рўй беради? 12. Диэлектрикнинг дипол моменти қандай аниқланади? 13. Қутбланганлик тушунчаси нима мақсадда киритилади? 14. Қутбланганлик деб

нимга айтилади? 15. Қутбланганлик ташқи электр майдон кучланганлигига боғлиқми? Йўналиши-чи? 16. Диэлектрик қабул қилувчанлик қандай катталик? Унинг қиймати, бирлиги. 17. Боғланган зарядлар деб қандай зарядга айтилади? 18. Боғланган зарядларни модда сиртидан узоқлаштириш мумкинми? 19. Диэлектрик ичидаги майдон кучланганлигининг йўналиши ташқи майдон кучланганлиги билан мос келадими? Улар қандай боғланган. 20. Диэлектрик сингдирувчанлик ва унинг физик маъноси қандай ? 21. Диэлектрик сингдирувчанлик ва қабул қилувчанликлар қандай боғланган?

68- §. Электр майдондаги ўтказгичлар

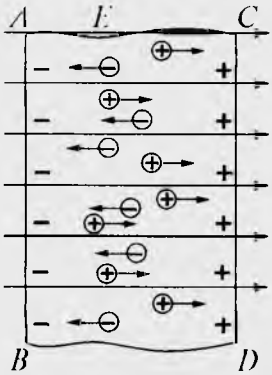
М а з м у н и : ўтказгичдаги эркин зарядлар; электростатик майдондаги ўтказгич; электростатик ҳимоя.

Ўтказгичдаги эркин зарядлар. Барча моддалар каби ўтказувчилар ҳам атомлардан ташкил топган. Атом таркибига эса мусбат зарядланган протонлар ва манфий зарядланган электронлар киради. Нормал ҳолдаги атом электронейтралдир. Чунки атом ядросидаги протонлар сони «электрон қобиғида», ядро атрофида айланадиган электронлар сонига тенг бўлади. Электронлар атомда ядронинг электр тортиш кучи таъсирида тутиб турилади. Лекин металлар шундай хусусиятга эгаки, ташқи таъсир натижасида электронлар ўз атомларини осонгина ташлаб кетишлари ва бошқа атом томонидан тутиб олинмагунча эркин ҳаракатланишлари мумкин. Ўз атомлари билан алоқани йўқотган электронларга эркин электронлар дейилади. Уларнинг ҳаракати бетартиб характерга эга бўлиб, температура кўтарилиши билан эркин электронларнинг ҳаракат тезликлари ҳам ортади. Металл ўтказгичда эркин электронларнинг концентрацияси 10^{28} м$^{-3}$ атрофида бўлади. Шу билан бирга электронга қарама-қарши йўналишда у тарк этган атом, яъни мусбат ион ҳам ҳаракатланади.

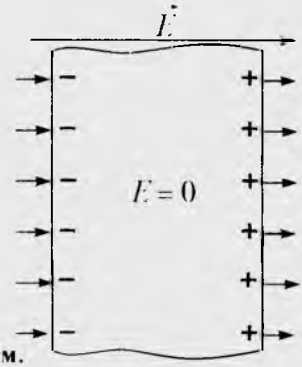
Электростатик майдонда ўтказгич. Агар ўтказгич ташқи электростатик майдонга киритилса ўтказгичдаги эркин зарядларга (электронларга ва ионларга) электростатик майдон таъсир қилади ва мусбатлари майдон бўйлаб, манфийлари эса майдонга қарши ҳаракатга келади (107-расм).

Натижада ўтказгичнинг *AB* сиртида ортиқча эркин манфий зарядлар, *CD* сиртида эса ортиқча мусбат зарядлар вужудга келади. Бу зарядларга индукцияланган зарядлар дейилади. Жараён ўтказгич ичидаги кучланганлик нолга тенглашгунча, ўтказгич ташқарисидаги кучланганлик чизиқлари эса ўтказгич сиртига перпендикуляр бўлгунча давом этади (108- расм). Бу эса ўтказгич ичидаги барча нуқталарда потенциал доимий ($\varphi = const$), яъни электростатик майдондаги ўтказгич сирти тенг потенциалли эканлигини кўрсатади.

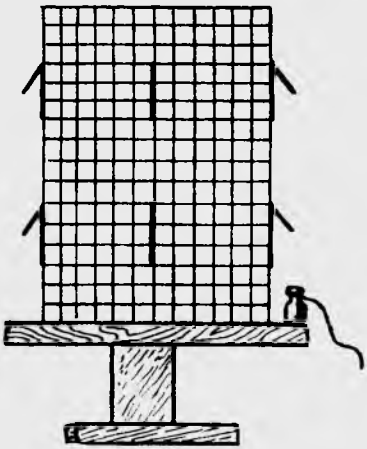
Шундай қилиб, электростатик майдонга киритилган нейтрал ўтказгич кучланганлик чизиқларининг бир қисмини узади. Улар ин-



107- расм.



108- расм.



109- расм.

дукцияланган манфий зарядларда тутаб, мусбат зарядлардан яна қайта бошланади. Индукцияланган зарядлар ўтказгичнинг ташқи сиртида тақсимланади. Ташқи электростатик майдон таъсирида ўтказгич ичидаги зарядларнинг қайта тақсимланиш ҳодисаси электростатик индукция дейилади.

108- расмдан кўриниб турибдики, индукцияланган зарядлар майдон таъсирида ўтказгичдаги зарядларнинг силжиши натижасида вужудга келади ва улар силжиган зарядларнинг сирт зичлиги (σ) дейилади. Ўтказгич яқинида электр силжиши $\vec{D}$ силжиган зарядларнинг сирт зичлиги σ га тенг. Шунинг учун ҳам $\vec{D}$ вектор электр силжиш вектори дейилади.

Электростатик ҳимоя. Агар ўтказгичга бирор Q заряд берилса, барча зарядлар ўтказгич сирти бўйлаб σ зичлик билан тақсимланади, яъни ўтказгичнинг ичида ҳеч жойда ортиқча зарядлар бўлмайди. (Зарядниг сиртий зичлиги $\sigma = \frac{Q}{S}$ муносабат билан аниқланиб, ўтказгичнинг бирлик сиртига тўғри келувчи зарядларни кўрсатади ва 1 Кл/м^{2}ларда ўлчанади). Заряд ковак ўтказгич ҳолида ҳам, худди яхлит ўтказгич каби сирт текислиги бўйлаб тақсимланади.

Бу хулоса қуйидагича тажриба ўтказган М. Фарадей томонидан аниқ намойиш этилган (109- расм). Агар сим тўрдан қафас шаклидаги (Фарадей қафаси) ёпиқ ковак ўтказгич тайёрлаб, уни изоляцияланган таянчга ўрнатиб, ички ва ташқи сиртларига электроскоп вазифасини бажара оладиган қоғоз баргчалари осиб қўйилса ва қафас

электр [illegible] ташина ёрдамида зарядланса, фақат ташқаридаги қоғоз баргчаларигина кўтарилиши кузатилади. Бу қафас ичида электр майдони йўқлигини кўрсатади. Шундай қилиб, ўтказувчи сирт ўзи ўраб турган соҳа фазосини электр майдон таъсиридан ишончли ҳимоя қилади.

Бундай сиртлардан электростатик ҳимоя сифатида фойдаланилади.

Синов саволлари

1. Эркин электронлар деб қандай электронларга айтилади? 2. Металларда эркин электронлар қаердан пайдо бўлади? 3. Металл ўтказгичларда эркин электронларнинг концентрацияси қанча? 4. Электрон тарк этган мусбат ион ўзини қандай тутади? 5. Агар ўтказгич ташқи электростатик майдонга киритилса қандай ҳодиса рўй беради? 6. Индукцияланган зарядлар деб қандай зарядларга айтилади? 7. Индукцияланиш жараёни қачонгача давом этади? 8. Қачон ўтказгич ичидаги потенциал доимий бўлади? 9. Ўтказгич ичида кучланганлик чизиқлари қандай ўзгаради? 10. Электростатик индукция деб қандай ҳодисага айтилади? 11. Индукцияланган зарядлар қаердан пайдо бўлади? 12. Электр силжиши ва силжиган зарядларнинг сирт зичлиги орасида қандай муносабат мавжуд? 13. Заряднинг сиртий зичлиги деб қандай катталикка айтилади? 14. Заряд ўтказгичда қандай тақсимланади? 15. Фарадей қафасини биласизми? 16. Ўтказувчи сиртларнинг қандай хусусиятлари улардан электростатик ҳимоя воситаси сифатида фойдаланишга имкон беради?

69- §. Электр сиғими. Конденсаторлар. Конденсаторларни улаш

Мазмуни: яккаланган ўтказгичнинг электр сиғими; шарсимон яккаланган ўтказгичнинг сиғими; электр сиғимининг бирлиги; конденсаторлар; конденсаторларнинг электр сиғимлари; конденсаторларни улаш

Яккаланган ўтказгичнинг электр сиғими. Бошқа ўтказгичлар, жисмлар ва зарядлардан узоқлаштирилган ўтказгич, яъни яккаланган ўтказгични кўраётган бўлайлик. Бундай ўтказгичнинг электр сиғими нималарга боғлиқ бўлади. Табиийки электр сиғими ундаги заряд миқдорига тўғри пропорционал, яъни ундаги заряд миқдори қанча кўп бўлса, бу ўтказгичнинг электр сиғдира олиш қобилияти, электр сиғими шунча катта эканлигини кўрсатади. Қуйидаги

$$C = \frac{Q}{\varphi} \qquad (69.1)$$

ифода билан аниқланадиган катталик яккаланган ўказгичнинг *электр сиғими* дейилади.

Яккаланган ўтказгичнинг электр сиғими унинг потенциалини бир бирликка ўзгартирадиган заряд миқдори билан аниқланади.

Шундай қилиб, ўтказгичнинг ёки ўтказгичлар системасининг электр сиғими, шу ўтказгич ва ўтказгичлар системаси ўзида электр зарядини йиға олиш қобилиятини характерловчи физик катталикдир.

Умумий ҳолда ўтказгичнинг сиғими у турган муҳитга ва уни ўраб турган жисмларга боғлиқ бўлади. Шу билан бирга, мисол учун бочканинг сиғими унга қуйиладиган сувнинг миқдори ва зичлигига боғлиқ бўлмаганидек, ўтказгичнинг электр сиғими ҳам унга берилган заряд миқдори ва потенциалига боглиқ эмас.

Электр сиғими бирлиги. *СИ* да электр сигими бирлиги қилиб *фарад* (Ф) қабул қилинган. У инглиз физиги М. Фарадей шарафига шундай номланган. *1 Ф сиғим шундай яккаланган ўтказгичнинг сиғимики, унга 1 Кл заряд миқдори берилганда потенциали 1В га ўзгаради.* 1Ф жуда улкан катталик. Ҳаттоки Ер шаридек ўтказгичнинг сиғими ҳам $7 \cdot 10^{-4}$ Ф ни ташкил этади. Шунинг учун ҳам амалда унинг улушлари бўлган бирликлар: 1 мкФ = 10^{-6} Ф, 1 нФ = 10^{-9} Ф, 1 пФ = 10^{-12} Ф лардан фойдаланилади.

Шарсимон яккаланган ўтказгичнинг сиғими. Бизга маълумки, R радиусли шарсимон ўтказгичнинг сиртидаги потенциали $\varphi = \dfrac{Q}{4\pi\varepsilon_0 R}$ га тенг. Агар φ нинг бу қийматини (69.1) га қўйсак, қуйидагига эга бўламиз:

$$C = 4\pi\varepsilon_0 R \tag{69.2}$$

бу ерда ε_0 — электр доимийси.

Агар шар ε диэлектрик сингдирувчанликли бир жинсли муҳитда турган бўлса, унинг сиғими қуйидагича аниқланади:

$$C = 4\pi\varepsilon_0 R. \tag{69.3}$$

Агар (69.3) ифодадан ε_0 ни топсак,

$$\varepsilon_0 = \frac{C}{4\pi\varepsilon R}$$

ва бу ифода ёрдамида ε_0 нинг СИ даги бирлигини аниқласак,

$$[\varepsilon_0] = \frac{[C]}{[R]} = 1\,\frac{\text{Ф}}{\text{м}}$$

ни ҳосил қиламиз. Демак, ε_0 учун биз олдин фойдаланган бу бирлик сиғимнинг ифодаси ёрдамида ҳосил қилинган экан.

Конденсаторлар. Амалда электр зарядларини йигиш ва зарур бўлганда улардан фойдаланиш жуда муҳимдир. Шу мақсадда *конденсатор* деб аталувчи қурилмалардан фойдаланилади. Уларнинг ўлчамларини иложи борича кичрайтириш, электр сиғимларини эса катталаштириш муҳим аҳамиятга эгадир. Шу мақсадда конденсаторлар диэлектрик билан ажратилган иккита ўтказгичдан (қопламадан) иборат қилиб ясалади. Шу билан бирга конденсаторнинг сиғи-

мига ташқи жисмлар таъсир этмаслиги, йиғадиган зарядлари эса қопламалар орасидаги тор тирқишда тўпланмоғи керак. Бундай шарт-лари эса: 1) иккита ясси пластинкадан; 2) иккита ичма-ич ци-линдрдан; 3) иккита ичма-ич сферадан иборат системаларгина ба-жариши мумкин. Шунинг учун ҳам, шаклига қараб конденсаторлар ясси, цилиндрик ва сферик конденсаторларга ажратилади. Майдон конденсатор ичида мужассамлашгани сабабли, кучланганлик чизиқ-лари бир қопламадан бошланиб иккинчисида тугайди. Шунинг учун ҳам қопламалардаги эркин зарядларнинг миқдорлари тенг, ишора-лари эса қарама-қарши бўлади.

Конденсаторнинг сиғими унда йиғилган заряд миқдори Q нинг қопламалар орасидаги потенциаллар фарқи $\varphi_1 - \varphi_2$ га нисбати би-лан аниқланади:

$$C = \frac{Q}{\varphi_1 - \varphi_2}. \qquad (69.4)$$

Конденсаторлар тешиш кучланиши билан характерланади. Қоп-ламалар орасидаги потенциаллар фарқи бу кучланишдан ортса, электр заряди диэлектрик қатлами орқали ўтади.

Конденсаторларнинг электр сиғимлари. 1. Ясси конденсатор-нинг сиғими (110- *а* расм):

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d} \qquad (69.5)$$

бу ерда S — конденсатор қопламасининг юзи, d — қопламалар орасидаги масофа, ε — қопламалар орасидаги диэлектрикнинг синг-дирувчанлиги.

2. Цилиндрик конденсаторнинг сиғими (110- *б* расм):

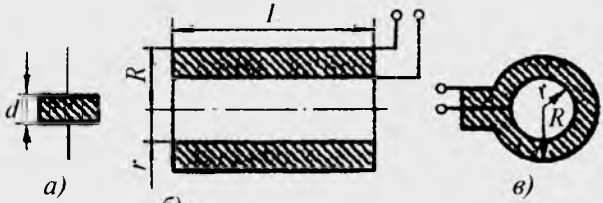
$$C = \frac{2\pi\varepsilon_0 \varepsilon l}{\ln\left(\frac{R}{r}\right)}, \qquad (69.6)$$

бу ерда R ва r — ичма-ич цилиндрларнинг радиуслари, L — цилин-дрнинг баландлиги

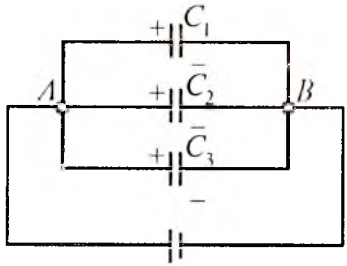
3) Сферик конденсаторнинг сиғими (110- *в* расм):

$$C = \frac{4\pi\varepsilon_0 \varepsilon rR}{R - r}, \qquad (69.7)$$

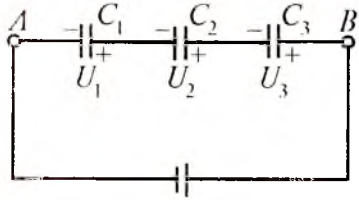
бу ерда r ва R — сфераларнинг радиуслари.



110- расм.



111- расм.



112- расм.

(69.6) — (69.7) формулалардан кўриниб турибдики, уларнинг сиғими қопламалар орасидаги диэлектрикнинг диэлектрик киритувчанлигига тўғри пропорционалдир.

Конденсаторларни параллел улаш. Сиғимни оритириш ёки унинг керакли қийматини ҳосил қилиш учун конденсаторлар бир-бирларига уланиб батарея ҳосил қилинади.Уларни икки хил : параллел ва кетма-кет усулларда улаш мумкин. Соддалик учун учта конденсатор уланган ҳолни кўрамиз. Лекин хулосалар исталган миқдордаги конденсаторлар учун ҳам ўринли бўлади.

Параллел уланганда конденсаторларнинг бир хил исмли қопламалари бирга уланади (111- расм). Бунда батареянинг умумий заряди $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$ га тенг бўлади. Лекин $Q_1 = U_{AB} \cdot C_1$; $Q_2 = U_{AB} \cdot C_2$; $Q_3 = U_{AB} C_3$ бўлганлигидан: $Q_{ум} = U_{AB}(C_1 + C_2 + C_3)$. Бундай батареянинг сиғими:

$$C_{ум} = \frac{Q_{ум}}{U_{AB}} = C_1 + C_2 + C_3.$$

Демак, конденсаторлар параллел уланганда батареянинг сигими унга кирган конденсаторлар сиғимларининг йиғиндисига тенг бўлади:

$$C_{ум} = \sum_{i=1}^{n} C_i \ . \qquad (69.8)$$

Бу ерда n — батареядаги конденсаторлар сони. Агар конденсаторларнинг сиғимлари бир хил бўлса, қуйидагига эга бўламиз:

$$C_{ум} = n \cdot C. \qquad (69.9)$$

Конденсаторларни кетма-кет улаш. Кетма-кет уланганда конденсаторларнинг турли исмли қопламлари бир-бирига уланади (112-расм). Бунда батареянинг заряди $Q_{ум} = Q_1 = Q_2 = Q_3$ га тенг бўлади.

A ва B нуқталар орасидаги кучланиш:

$$U_{AB} = U_1 + U_2 + U_3 = \frac{Q_1}{C_1} + \frac{Q_2}{C_2} + \frac{Q_3}{C_3} = Q_{ум}\left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}\right).$$

Агар $C_{ум} = \frac{Q_{ум}}{U_{AB}}$ экаплигини назарда тутсак,

$$\frac{1}{C_{ум}} = \frac{U_{AB}}{Q_{ум}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

ни ҳосил қиламиз. Умумий ҳолда:

$$\frac{1}{C_{ум}} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{C_i} \qquad (69.10)$$

Агар конденсаторларнинг сиғимлари бир хил бўлса:

$$C_{ум} = \frac{C}{n}. \qquad (69.11)$$

Синов саволлари

1. Яккаланган ўтказгич деб қандай ўтказгичга айтилади? 2. Яккаланган ўтказгичнинг электр сиғими деб қандай катталикка айтилади? 3. Электр сигими нимани характерлайди? 4. Ўтказгичнинг электр сиғими унга берилган заряд миқдорига ва потенциалига боғлиқми? 5. Ўтказгичнинг сиғими у турган муҳитга боғлиқми? 6. Шарсимон ўтказгичнинг электр сиғими нимага тенг? 7. СИ да электр сигимининг бирлиги нима? 8. Сиғимнинг яна қандай бирликларини биласиз? 9. Сиғимнинг бошқа бирликларидан фойдаланишга нима зарурат бор? 10. Конденсаторнинг вазифаси нима? 11. Конденсатор ўз вазифасидан келиб чиқиб қандай бўлиши керак? 12. Конденсаторлар қандай турларга бўлинади? 13. Конденсатор қопламаларидаги зарядлар миқдори тенгми? Ишораси-чи? 14. Конденсаторнинг сиғими қандай аниқланади? 15. Конденсаторнинг „тешиш кучланиши" деб қандай кучланишга айтилади? 16. Ясси конденсаторнинг электр сиғими нима? 17. Цилиндрик конденсаторнинг электр сиғими нима? 18. Сферик конденсаторнинг электр сиғими нима? 19. Конденсаторларнинг сиғимлари диэлектрикнинг табиатига боғлиқми? 20. Конденсаторлар батарсяси нима учун керак? 21. Конденсаторларнинг параллел уланиши деб қандай уланишга айтилади? 22. Бунда умумий сиғим қандай топилади? 23. Бунда конденсаторлар қопламаларидаги потенциаллар қандай бўлади? 24. Бунда батареянинг умумий заряди қандай бўлади? 25. Конденсаторларнинг кетма-кет уланиши деб қандай уланишга айтилади? 26. Бунда умумий сиғим қандай топилади? 27. Бунда батареянинг заряди қандай бўлади? 28. Бунда кучланиш қандай бўлади?

70- §. Зарядланган конденсатор энергияси

М а з м у н и : зарядланган-яккаланган ўтказгич энергияси; зарядланган конденсатор энергияси.

Зарядланган-яккаланган ўтказгич энергияси. Олдин зарядланган-яккаланган ўтказгич энергиясини кўрайлик. Q зарядни чексизликдан ўтказгичга олиб келиш керак. Бунинг учун эса майдон кучларига қарши A иш бажариш керак. Бунда ўтказгичнинг потен-

циали 0 дан φ гача ортади. Демак, потенциалнинг ўртача қиймати $\frac{\varphi}{2}$ бўлади.

Демак, Q зарядни чексизликдан кўчириб келишда бажарилган иш ёки бунда зарядланган-яккаланган ўтказгич олган потенциал энергия қуйидагича аниқланади:

$$W = A = \frac{Q\varphi}{2} = \frac{C\varphi^2}{2} = \frac{Q^2}{2C}, \qquad (70.1)$$

бу ерда $Q = C\varphi$ лиги эътиборга олинган, C — ўтказгичнинг сиғими.

Зарядланган конденсатор энергияси. Зарядланган ўтказгич каби зарядланган конденсатор ҳам (70.1) кўринишдаги энергияга эга:

$$W = \frac{C(\Delta\varphi)^2}{2} = \frac{Q \cdot \Delta\varphi}{2} = \frac{Q^2}{2C}, \qquad (70.2)$$

бу ерда Q — конденсатор заряди, C — унинг сиғими, $\Delta\varphi$ — қопламалари орасидаги потенциаллар фарқи.

Синов саволлари

1. Зарядни чексизликдан майдонга кўчириб келишда иш бажариладими? 2. Бунда иш нимага қарши бажарилади? 3. Зарядни чексизликдан кўчириб келишда ўтказгичнинг потенциали қандай ўзгаради? 4. Зарядни чексизликдан кўчириб келишда бажарилган иш нимага тенг? 5. Зарядни чексизликдан кўчириб келганда яккаланган ўтказгич олган потенциал энергия нимага тенг бўлади? 6. Зарядланган конденсаторнинг энергияси нимага тенг?

71- §. Электростатик майдон энергияси

М а з м у н и : электростатик майдон энергияси; энергиянинг ҳажмий зичлиги.

Электростатик майдон энергияси. Зарядланган конденсаторнинг энергияси унинг қопламалари орасидаги электростатик майдон энергиясида мужассамлашгандир. Шунинг учун ҳам электростатик майдон энергиясини ясси конденсаторнинг $\left(C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d}, \Delta\varphi = Ed\right)$ энергияси каби топамиз:

$$W = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d} \cdot \frac{E^2 d^2}{2} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2} \cdot S \cdot d = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2} \cdot V, \qquad (71.1)$$

бу ерда $V = S \cdot d$ — конденсаторнинг ҳажми. (71.1) формуладан кўриниб турибдики, конденсаторнинг энергияси электростатик майдонни характерловчи катталик кучланганлик E орқали ифодаланади.

Энергиянинг ҳажмий зичлиги. Энергиянинг ҳажмий зичлигини аниқлаш учун электростатик майдон энергиясини ҳажмга бўламиз:

$$\omega = \frac{W}{V} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2} = \frac{ED}{2} = \frac{D^2}{2\varepsilon_0 \varepsilon}, \qquad (71.2)$$

бу ерда D — электр силжиш вектори.

Синов саволлари

1. Конденсаторнинг энергияси қаерда мужассамлашган? 2. Конденсатор энергияси электростатик майдон энергиясига тенгми? 3. Электростатик майдон энергияси нимага тенг? 4. Энергиянинг ҳажмий зичлиги қандай аниқланади? 5. Электростатик майдон энергиясининг ҳажмий зичлиги?

Масала ечиш намуналари

1 - масала. Ҳар бирининг массаси 10^{-3} кг дан бўлган иккита шарча берилган. Зарядларининг ўзаро итариш кучи, уларнинг ўзаро тортишиш кучларига тенг бўлиши учун шарчаларга қанчадан заряд берилиши керак. Шарчалар моддий нуқталар сифатида қаралсин.

Берилган:
$m = m_1 = m_2 = 10^{-3}$кг;
$F_к = F_н$

$Q = Q_1 = Q_2 = ?$

Ечиш. Иккита бир исмли зарядланган нуқтавий зарядлар орасидаги ўзаро Кулон таъсир кучи қуйидагича аниқланади:

$$F_k = K\frac{Q_1 Q_2}{r^2} = K\frac{Q^2}{r_2}.$$

Моддий нуқталар орасидаги ўзаро тортишиш кучи:

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

Масаланинг шартига биноан $F_к = F_н$ лигидан $k = \frac{Q^2}{r^2} = G\frac{m^2}{r^2}$ га эга бўламиз.

Ушбу тенгликдан Q ни топиб оламиз: $Q = m\sqrt{\frac{G}{k}}$.

Массанинг қиймати ва $k = 9 \cdot 10^9$ Ф/м, $G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}\ \frac{м^3}{кг \cdot с^2}$ эканлигини эътиборга олиб, топамиз:

$$Q = 10^{-3}\sqrt{\frac{6{,}67 \cdot 10^{-11}}{9 \cdot 10^9}}\ Кл = 86{,}7 \cdot 10^{-15}\ Кл.$$

Жавоб: $Q = 86{,}7 \cdot 10^{-15}$ Кл.

2 - м а с а л а . Ясси конденсатор қопламалари орасида шиша пластинка бор. Конденсаторлар $U_1 = 100$ В фарқигача зарядлайди. Агар шиша конденсатордан чиқариб олинса, унда конденсатордаги потенциаллар фарқи нимага тенг бўлиб қолади?

Берилган:
$U_1 = 100$ В,
$\varepsilon = 7$
$U_2 = ?$

Ечиш. Конденсатор сиғимининг $C = \frac{Q}{U}$ ифодасидан потенциаллар фарқини топиб оламиз:

$$U = \frac{Q}{C}.$$

Ясси конденсаторнинг дастлабки (қопламалар орасидаги диэлектрик — шиша бўлгандаги) сиғими $C_1 = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}$ ва диэлектрик чиқариб олингандаги сиғими ($\varepsilon = 1$) $C_2 = \frac{\varepsilon_0 S}{d}$ лигидан:

$$U_1 = \frac{Qd}{\varepsilon\varepsilon_0 S}, \quad U_2 = \frac{Qd}{\varepsilon_0 S}.$$

U_1 ни U_2 орқали ифодалаймиз:

$$U_1 = \frac{U_2}{\varepsilon} \text{ ёки } U_2 = \varepsilon \cdot U_1.$$

Берилганлар ёрдамида топамиз:

$$U_2 = 7 \cdot 100B = 700B.$$

Жавоб. $U_2 = 700B$.

3 - м а с а л а . Диаметри 20 см бўлган 100 пКл заряд берилган металл шарнинг электростатик майдон энергияси нимага тенг?

Берилган:
$d = 20$см $= 0{,}2$м;
$Q = 100$ пКл $= 10^{-7}$Кл
$W = ?$

Ечиш. Зарядланган металл шарнинг электростатик майдон энергияси қуйидагича аниқланади:

$$W = \frac{Q^2}{2c},$$

бу ерда C $R = \frac{d}{2}$ радиусли шарнинг электр сиғими. $C = 4\pi\varepsilon_0 \varepsilon R = 2\pi\varepsilon_0\varepsilon d$ эканлигидан:

$$W = \frac{Q^2}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon d}.$$

Берилганлардан ва $\varepsilon = 1$, $\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м лигидан:

$$W = \frac{(10^{-7})^2}{4 \cdot 3{,}14 \cdot 8{,}85 \cdot 10^{-12} \cdot 0{,}2}$$

$$W = 4{,}50 \cdot 10^{-4}\text{Ж} = 450 \text{ мкЖ}.$$

Жавоб: W = 450мкЖ.

Мустақил ечиш учун масалалар

1. Иккита электроннинг гравитацион таъсир кучи уларнинг электростатик таъсир кучидан неча марта кичик. ($2{,}4 \cdot 10^{45}$.)
2. 2 мкКл ва −3 мкКл бўлган иккита нуқтавий зарядлар бир-биридан 5 см масофада жойлашган. Мусбат заряддан 3 см ва манфий зарядлан 4 см узоқликлаги нуқтада майдон кучланганлиги нимага тенг? ($E = 9{,}9 \cdot 10^6\ \frac{\text{Н}}{\text{Кл}}$).
3. Иккита: $q_1 = 2q$ ва $q_2 = -q$ нуқтавий зарядлар бир-бирларидан d масофада жойлашган. Шу зарядлардан ўтувчи тўғри чизиқда ётувчи ва майдон кучланганлиги нолга тенг бўлган нуқтанинг ўрни топилсин. ($2{,}41d$).
4. Диаметри 2 см бўлган металл шар 150 В потенциалгача манфий зарядланган. Шар сиртида нечта электрон бор? ($1{,}04 \cdot 10^9$ та).
5. 10 В потенциалгача зарядланган тўртта бир хил симоб томчиси қўшилиб битта катта томчи ҳосил қилди. Ҳосил бўлган катта томчининг потенциали топилсин ($\varphi \approx 25$ В).
6. Қопламаларининг юзи 100 см², орасидаги масофа эса 0,1мм бўлган слюдали ясси конденсаторнинг электр сиғими аниқлансин. ($C = 6{,}2$ нФ).
7. Конденсатор қопламлари орасидаги тортишиш кучи $F = 50$ мН. Ҳар бир қопламанинг юзи 200 см² дан. Конденсатор майдони энергиясининг зичлиги топилсин $\left(\omega = 2{,}5\ \frac{\text{Ж}}{\text{м}^3}\right)$.
8. Электр сиғими 10 пФ бўлган конденсаторга 1нКл заряд берилган. Конденсаторнинг энергияси аниқлансин ($W = 0{,}05$ мкЖ).

XIII БОБ. ЎЗГАРМАС ТОК ҚОНУНЛАРИ

Биз олдинги бобда ҳаракатсиз электр заряди ва унга боғлиқ физик ҳодисаларни ўргандик. Энди уларнинг ҳаракати билан боғлиқ жараёнларни кўришга ўтамиз. Электр зарядлари ёки зарядланган макроскопик жисмларнинг ҳаракати билан боғлиқ ҳодиса ва жараёнларни ўрганишда электр токи тушунчаси муҳим аҳамиятга эгадир.

72- §. Ток кучи ва ток зичлиги

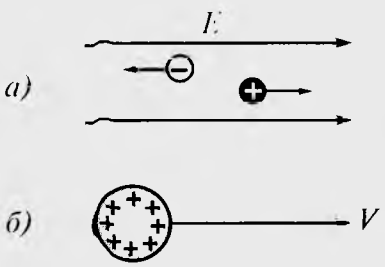
Мазмуни: электр токи; ток кучи; ток зичлиги; ток зичлигининг зарядлар тезлигига боғлиқлиги; электронларнинг ҳаракат тезлиги; электр токининг тарқалиш тезлиги; электр зарядининг бирлиги.

Электр токи. *Электр токи деб электр зарядларининг батартиб ҳаракатига айтилади.* Ташқи электр майдон таъсирида ўтказгичлардаги мусбат зарядлар майдон бўйлаб, манфий зарядлар эса майдонга қарши ҳаракатга келади, яъни ўтказгичда электр токи вужудга келади. Бу ток ўтказувчанлик токи дейилади (113- *а* расм).

Шартли равишда электр токининг йўналиши мусбат зарядларнинг ҳаракат йўналиши билан мос, манфий зарядларнинг ҳаракатига эса қарама-қарши деб қабул қилинган. Масалан, металлардаги электр токининг йўналиши электронларнинг ҳаракат йўналишига қарама-қарши деб олинади.

Агар электр зарядларининг батартиб ҳаракати зарядланган макроскопик жисмларнинг фазодаги кўчишидан иборат бўлса, бундай ток кўчиш токи дейилади (113- *б* расм).

Электр токи вужудга келиши ва мавжуд бўлиши учун: 1) батартиб ҳаракат қилиши мумкин бўлган эркин зарядланган зарралар; 2) энергиясини бу зарраларнинг батартиб ҳаракатига сарфлайдиган электр майдони бўлиши зарур.



113- расм.

Ток кучи. Ток кучи (I) электр токининг миқдорий ўлчови бўлиб, ўтказгичнинг кўндаланг кесим юзидан вақт бирлигида ўтувчи электр заряди билан аниқланадиган скаляр физик катталикдир:

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}, \qquad (72.1)$$

бу ерда ΔQ ўтказгич кўндаланг кесимидан Δt вақтда оқиб ўтган заряд миқдори.

Вақт ўтиши билан кучи ва йўналиши ўзгармайдиган ток ўзгармас ток дейилади. Ўзгармас ток учун

$$I = \frac{Q}{t}. \qquad (72.2)$$

Ток кучининг СИ даги бирлиги ампер (А) - асосий бирликдир. У француз физиги А.Ампер (1775 — 1836) шарафига шундай номланган.

Ток зичлиги. Ток зичлиги вектор катталик бўлиб, унинг модули ток кучи I нинг ўтказгич кўндаланг кесим юзи S га нисбатига тенг:

$$j = \frac{I}{S}. \qquad (72.3)$$

$\vec{j}$ вектор ток йўналиши бўйлаб йўналган.

Ток зичлигининг СИ даги бирлиги $\frac{А}{м^2}$:

$$[j] = \frac{[I]}{[S]} = 1\,\frac{А}{м^2}.$$

Ток зичлигининг зарядлар зичлигига боғлиқлиги. Энди ток зичлигининг ўтказгичдаги зарядларнинг ҳаракат тезлигига боғлиқлигини кўрайлик. Бунинг учун цилиндрсимон ўтказгични ажратиб оламиз (114-расм).

Агар цилиндрдаги заряд ташувчиларнинг концентрацияси n, заряди e бўлса, унда ўтказгичнинг кўндаланг кесим юзидан

$$Q = n \cdot e \cdot S\langle v\rangle t \qquad (72.4)$$

миқдордаги заряд ўтади.

Демак, ток кучи

$$I = \frac{Q}{t} = n \cdot e\langle v\rangle S,$$

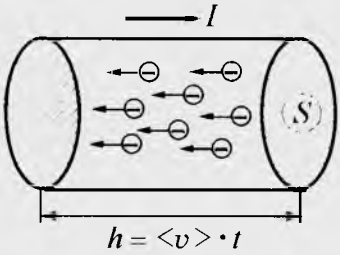
ток зичлиги эса

$$j = \frac{I}{S} = n \cdot e \cdot \langle v\rangle \qquad (72.5)$$

бўлади.

Шундай қилиб, ўтказгичдаги ток зичлиги ундаги эркин заряд ташувчиларнинг концентрациясига ва уларнинг ҳаракат тезлигига боғлиқ экан.

Шуни таъкидлаш лозимки, металлардаги электронларнинг концентрацияси амалда ўзгармас бўлади. У температурага ҳам боғлиқ эмас.



114- расм.

Электронларнинг ҳаракат тезлиги. (72.5) ифодадан фойдаланиб ўтказгичдаги электронларнинг йўналтирилган ҳаракатининг ўртача тезлигини топиш мумкин:

$$\langle v \rangle = \frac{j}{n \cdot e}. \qquad (72.6)$$

Ҳисоблашни мис ўтказгич ($n = 8{,}5 \cdot 1028$ м$^{-3}$) ва мумкин бўлган энг катта ток зичлиги $j = 10^7$ А/м^2 учун амалга оширамиз. Катталикларнинг қийматларини (72.6) га қўйсак ($e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл).

$$\langle v \rangle = \frac{10^7 \frac{\text{А}}{\text{м}^2}}{1{,}6 \cdot 10^{-19}\,\text{Кл} \cdot 8{,}5 \cdot 10^{28}\,\text{м}^{-3}} = 8 \cdot 10^{-4}\ \text{м/с}.$$

Электронларнинг хона температурасидаги иссиқлик ҳаракати ўртача тезлиги тахминан 10^5м/с ни ташкил қилиб, у электронларнинг ўтказгичдаги йўналтирилган ҳаракат тезлигидан қарийб 10^8 марта катта экан. Унда электр токининг тарқалиш тезлиги нимага тенг, деган савол туғилади.

Электр токининг тарқалиш тезлиги. Электронларнинг ўтказгичдаги йўналтирилган ҳаракат тезлиги ва электр токининг тарқалиш тезлиги мутлақо бир хил нарса эмас. Электр токининг тарқалиш тезлиги электр майдонининг тарқалиш тезлигидир. Шу майдон таъсирида ўтказгичдаги барча эркин электронлар қарийб бир пайтда ўзларининг йўналтирилган ҳаракатларини бошлайдилар. Чунки электр майдонининг тарқалиш тезлиги ёруғлик тезлиги $c = 3 \cdot 10^8$ м/с га тенгдир. Масалан, ток манбаидан l масофада бўлган истеъмолчига электр токининг етиб бориш вақти

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

ифода ёрдамида аниқланади.

Электр зарядининг бирлиги. Электр зарядининг бирлигини топиш учун (72.2) ифодадан фойдаланамиз:

$$Q = I \cdot t.$$

СИ да заряд миқдорининг бирлиги — Кулон (Кл), у француз физиги Ш. Кулон шарафига шундай номланган.

$$[Q] = [I] \cdot [t] = 1\text{А} \cdot 1\text{с} = 1\text{А} \cdot \text{с} = 1\ \text{Кл}$$

Назорат саволлари

1. Электр токи деб нимага айтилади? 2. Ташқи электр майдон таъсирида ўтказгичларда қандай жараёнлар рўй беради? 3. Ўтказувчанлик токи деб қандай токка айтилади? 4. Электр токининг йўналиши қандай бўлади? 5. Кучиш токи деб қандай токка айтилади? 6. Электр токи вужудга келиши ва мавжуд бўлиши учун қандай шартлар бажарилиши керак?

7. Ток кучи деб қандай катталикка айтилади? 8. Ўзгармас ток деб қандай токка айтилади? 9. Ўзгармас токнинг кучи қандай топилади? 10. СИ да ток кучининг бирлиги нима? 11. Ток зичлиги деб қандай катталикка айтилади ва унинг бирлиги нима? 12. Ток зичлигининг ифодаси ва у қандай катталикларга боғлиқ? 13. Ток зичлигининг заряд ташувчиларнинг концентрациясига ва тезлигига боғлиқлигини таҳлил килинг. 14. Электронларнинг йўналтирилган ҳаракат ўртача тезлиги нимага тенг? 15. Электронларнинг хона температурасидаги иссиқлик ҳаракати ўртача тезлиги нимага тенг? 16. Электр токининг тарқалиш тезлиги ва электронларнинг ўтказгичдаги йўналтирилган ҳаракат тезлиги бир хилми? 17. Электр токининг тарқалиши қандай тезлик билан мос келади? 18. Электр токининг тарқалиш тезлиги нимага тенг? 19. Ток манбаидан *l* масофада бўлган истеъмолчига электр токининг етиб бориш вақти қандай топилади? 20. Электр зарядининг СИ даги бирлиги.

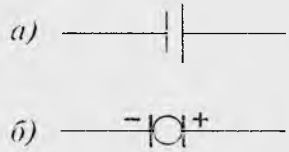
73- §. Ташқи кучлар. Электр юритувчи куч ва кучланиш

Мазмуни: ташқи кучлар; ташқи кучларнинг иши; электр юритувчи куч; кучланиш.

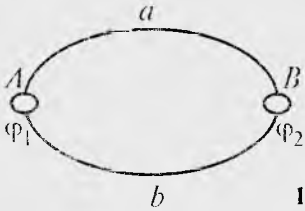
Ташқи кучлар. Олдинги параграфда қайд қилиб ўтганимиздек, электр токи вужудга келиши учун зарур бўлган шартлардан бири эркин зарядланган зарраларнинг батартиб ҳаракатини таъминловчи кучларнинг мавжудлигидир. Бунинг учун эркин зарядларга ташқи кучлар таъсир этиши керак. Ташқи кучларнинг вужудга келишини ва таъсирини таъминловчи қурилма *ток манбаи* дейилади. Бундай қурилмаларда турли исмли зарядларнинг бўлишини рўй беради. Зарядлар ташқи кучлар таъсирида, ток манбаи ичида, электр майдони кучлари таъсирига қарама-қарши йўналишда ҳаракат қилади. Бунинг натижасида ток манбаи қутбларида доимий потенциаллар фарқи сақланиб туради.

Ўзгармас ток манбаларининг схематик тасвири 115-расмда кўрсатилган. Ўзгармас ток манбаининг мусбат қутби узун, манфий қутби эса калта чизиқ билан кўрсатилади (115- *а* расм). Генератив қутбларига эса <<+>> ва << − >> белгилар қўйилади (115- *б* расм).

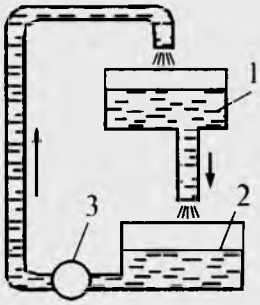
Ташқи кучларнинг иши. Занжирда электр токи вужудга келиши ва мавжуд бўлишини тасаввур қилиш учун қуйидагича тажрибани ўтказайлик. Турли потенциалли ($\varphi_1 > \varphi_2$) *A* ва *B* жисмлар ўтказгич орқали туташтирилиб, улардан ток оқмоқда (116-расм). Жисмлар-



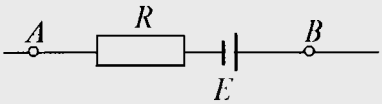
115- расм.



116- расм.



117- расм.



118- расм.

нинг потенциаллари тенглашиши билан ўтказгич орқали оқаётган ток тўхтайди. Занжирда доимий токни сақлаб туриш учун $\varphi_1 - \varphi_2 = const$ потенциаллар фарқини ўзгартирмай сақлаш зарур. Буни эса зарядларни *B* жисмдан *A* жисмга қайтариш билангина амалга ошириш мумкин. Бошқача айтганда, ток оқадиган контур ёпиқ бўлади(*AaBвA*). Лекин *BвA* қисмда зарядлар электр кучларига қарши кўчишлари керак. Бу кўчиришни эса электр табиатига эга бўлмаган ташқи кучларгина амалга оширишлари мумкин. Улар бутун занжир бўйлаб ёки унинг бирор қисмида таъсир қилиши мумкин.

Умуман олганда, ташқи кучларнинг табиати турлича бўлади. Мисол учун улар гальваник элементларда кимёвий реакциялар натижасида вужудга келади, генераторда эса ротор айланишининг механик энергияси ҳисобида ва ҳоказо. Электр занжиридаги ток манбаининг ролини гидравлик системага сув ҳайдовчи насосга ўхшатиш мумкин (117-расм). *1*-бакдан *2*-сига доимо сув оқиб туриши учун, пастдаги сувни юқоридагисига ҳайдовчи насос *3* зарур. Акс ҳолда *1*-бакдаги сув тугагандан сўнг система ишида узилиш рўй беради.

Электр юритувчи куч. Ташқи кучлар зарядларни кўчириш учун маълум иш бажаради.

Бирлик мусбат электр зарядни бутун занжир бўйлаб кўчиришда ташқи кучлар бажарадиган иш ток манбаининг *электр юритувчи кучи* (ЭЮК) дейилади.

Электр юритувчи кучнинг СИ даги бирлиги — вольт (В).

Ўзгармас ток оқадиган ўтказгичнинг ичида бир пайтнинг ўзида ҳам кулон ($E_{кул}$), ҳам ташқи ($E_т$) майдон кучлари мавжуд бўлади. Майдоннинг натижавий кучланганлиги эса суперпозиция принципига мувофиқ аниқланади, яъни

$$\vec{E} = \vec{E}_{кул} + \vec{E}_т. \qquad (73.1)$$

Ўтказгичдан электр токи оқиб *Q* заряднинг кўчишида ҳам кулон кучлари ($A_{кул}$) ҳам ташқи кучлар ($A_т$) иш бажаради. Тўла иш эса бу ишларнинг йиғиндисига тенг бўлади:

$$A = A_{кул} + A_т.$$

Бу тенгликнинг ҳар иккала томонини *Q* га бўлиб ва уни 118-расмдаги занжирга қўллаб, қуйидагига эга бўламиз:

$$\frac{A_{AB}}{Q} = \frac{A_{кул}}{Q} + \frac{A_1}{Q}. \qquad (73.2)$$

$\frac{A_{кул}}{Q} = (\varphi_A - \varphi_B)$ — А ва В нуқталар орасидаги потенциаллар фарқини $\frac{A_1}{Q} = \mathcal{E}_{BA}$ эса AB қисмга таъсир этувчи электр юритувчи кучни кўрсатади.

Унда (73.2) ифодани қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин:

$$\frac{A_{AB}}{Q} = (\varphi_A - \varphi_B) + \mathcal{E}_{BA} \qquad (73.3)$$

Кучланиш. Занжирнинг AB қисмидаги кучланиш (кучланиш тушиши) деб бирлик мусбат зарядни шу қисм бўйлаб кўчиришда ҳам кулон кучлари, ҳам ташқи кучлар бажарган тўла ишга тенг бўлган физик катталикка айтилади:

Демак,
$$\frac{A_{AB}}{Q} = U_{BA}. \qquad (73.4)$$

(73.3) ни қайта ёзамиз:

$$U_{BA} = (\varphi_A - \varphi_B) + \mathcal{E}_{BA}. \qquad (73.5)$$

(73.5) ифодадан кўриниб турибдики, агар ЭЮК бўлмаса, $\mathcal{E}_{BA} = 0$, унда занжирнинг AB қисмидаги кучланиш потенциаллар фарқига тенг бўлади:

$$U_{BA} = \varphi_A - \varphi_B.$$

Узилган манба клеммаларидаги потенциаллар фарқи асосида ЭЮК ни ўлчаш мумкин.

$U_{BA} = 0$ да $\mathcal{E}_{BA} = \varphi_A - \varphi_B$ бўлади.

Синов саволлари

1. Эркин зарядларнинг батартиб ҳаракатларини вужудга келтириш учун қандай кучлар таъсир этиши керак? 2. Ток манбаи деб нимага айтилади? 3. Ток манбаида қандай жараён руй беради? 4. Ўзгармас ток манбалари схематик равишда қандай тасвирланади? 5. Турли потенциалли жисмлар туташтирилганда улардан қачонгача ток оқади? 6. Занжирда доимий токни сақлаб туриш учун потенциаллар фарқи қандай бўлиши керак? 7. Қандай кучлар потенциаллар фарқини доимий сақлаши мумкин? 8. Ташқи кучлар қандай табиатга эга бўлишлари мумкин? 9. Ток манбаининг ролини гидравлик системадаги насосга ўхшатиш мумкинми? 10. Электр юритувчи куч(ЭЮК) деб нимага айтилади? 11. Ўзгармас ток оқадиган ўтказгич ичида қандай кучлар мавжуд бўлади? 12. Ўтказгичда заряд кўчишида қандай кучлар иш бажаради? 13. Зарядни кўчиришда бажарилган тўла иш

нимага тенг? 14. Кулон кучлари бажарган ишнинг заряд миқдорига нисбати нимани кўрсатади? 15. Ташқи кучлар бажарган ишнинг заряд миқдорига нисбати-чи? 16. Кучланиш деб нимага айтилади ва у қандай аниқланади? 17. Агар ЭЮК бўлмаса кучланиш нимага тенг бўлади? 18. Агар кучланиш нолга тенг бўлса ЭЮК қандай аниқланади?

74- §. Занжирнинг бир қисми учун Ом қонуни

Мазмуни: занжирнинг бир қисми учун Ом қонуни; электр қаршилиги ва унинг бирлиги; электр ўтказувчанлик ва унинг бирлиги.

Занжирнинг бир қисми учун Ом қонуни. Электр занжирининг ЭЮК бўлмаган қисми, яъни занжирнинг бир қисми билан иш кўраётган бўлайлик (119-расм). Бизни занжирдан оқадиган ток кучи A ва B нуқталар орасидаги потенциаллар фарқига, яъни

$$U = \varphi_A - \varphi_B. \qquad (74.1)$$

кучланишга қандай боғлиқлиги қизиқтирсин. Немис физиги Г.Ом (1787 — 1854) тажрибалар асосида бир жинсли ўтказгичдан оқаётган ток кучи ундаги кучланишга тўғри нропорционаллигини аниқлади.

$$I = \frac{U}{R}. \qquad (74.2)$$

Бу ерда R — ўтказгичнинг қаршилиги,

(74.2) ифода занжирнинг бир қисми учун Ом қонунини ифодалайди: *Ўтказгичдаги ток кучи унинг учларидаги кучланишга тўғри пропорционал ва ўтказгичнинг қаршилигига тескари пропорционал.*

Электр қаршилиги ва унинг бирлиги. (72.4) ифодадан электр қаршилигини аниқлаш мумкин, у қаршиликнинг бирлигини аниқлашга имкон беради. Бунинг учун ундан R ни топиб оламиз:

$$R = \frac{U}{I}. \qquad (74.3)$$

Электр қаршилигининг СИ даги бирлиги — Ом (Ом).

$$[R] = \frac{[U]}{[I]} = 1\,\frac{B}{A} = 1\text{Ом}.$$

1 Ом — учларига 1 В кучланиш қўйилганда 1 А ток оқадиган ўтказгичнинг қаршилигидир.

Электр ўтказувчанлик ва унинг бирлиги. Электр қаршилигига тескари катталик электр ўтказувчанлик дейилади:

119- расм.

$$G = \frac{1}{R}. \qquad (74.4)$$

Электр ўтказувчанликнинг СИ даги бирлиги — сименс (См) дир:

$$[G] = \frac{1}{[R]} = \frac{1}{\text{Ом}} = 1\text{См}.$$

1См — 1Ом қаршиликли ўтказгич қисмининг ўтказувчанлигидир.

Синов саволлари

1. Занжирнинг бир қисми учун Ом қонуни. 2. Занжирнинг бир қисми дейилганда унинг қандай қисми тушунилади? 3. Электр қаршилиги қандай аниқланади? 4. Электр қаршилигининг СИ даги бирлиги ва у қандай қаршилик? 5. Электр ўтказувчанлиги деб қандай катталикка айтилади? 6. Электр ўтказувчанликнинг СИ даги бирлиги ва у қандай ўтказувчанлик?

75- § . Ўтказгичларнинг қаршилиги. Ўтказгич қаршилигининг температурага боғлиқлиги

Мазмуни: Ўтказгичнинг қаршилиги; ўтказгичнинг солиштирма қаршилиги; солиштирма электр ўтказувчанлик; ўтказгич қаршилигининг температурага боғлиқлиги ва ундан техникада фойдаланиш; ўта ўтказувчанлик.

Ўтказгичнинг қаршилиги. Ўтказгичнинг қаршилиги унинг ўлчамлари, шакли ва қандай материалдан ясалганига боғлиқ. Электр ўтказувчанликнинг классик назариясига мувофиқ электр қаршилигининг мавжудлигига сабаб ҳаракатланаётган эркин электронларнинг кристалл панжара тугунларидаги мусбат ионлар билан тўқнашишидир. Агар ўтказгич қанча узун бўлса, тўқнашишлар ҳам шунча кўп ва демак, электр қаршилиги катта, агар ўтказгичнинг кўндаланг кесим юзи қанча катта бўлса, тўқнашишлар эҳтимоли ҳам шунча кам ва демак электр қаршилиги ҳам кичик бўлади. Хулоса қилиб қуйидагини айтиш мумкин. Бир жинсли чизиқли ўтказгичнинг қаршилиги R унинг узунлиги l га тўғри, кўндаланг кесим юзи S га эса тескари пропорционалдир:

$$R = \rho \frac{l}{S}, \qquad (75.1)$$

бу ерда ρ — ўтказгич материалини характерловчи коэффициент бўлиб, унга солиштирма электр қаршилиги дейилади.

Ўтказгичнинг солиштирма қаршилиги. Солиштирма қаршилик ρ нинг физик маъносини аниқлаш учун (75.1) ифодадан ρ ни топиб оламиз:

$$\rho = R \frac{S}{l}. \qquad (75.2)$$

Солиштириш учун катталикларнинг ўлчамларини бир бирликдан қилиб оламиз: $S = 1м^2$, $l = 1м$.

Демак, материалнинг солиштирма қаршилиги шу материалдан ясалган кўндаланг кесим юзи $1м^2$, узунлиги 1м бўлган ўтказгичнинг электр қаршилигидир.

Солиштирма қаршиликнинг СИ даги бирлиги — Ом · м

$$[\rho] = \frac{[R]\cdot[S]}{[l]} = \frac{1\cdot Ом\cdot 1м^2}{1м} = 1Ом\cdot м.$$

7- жадвал.

Баъзи ўтказгичларнинг солиштирма қаршиликлари

Материал	ρ, 10^{-8} Ом.м
Кумуш	1,6
Мис	1,7
Алюминий	2,9
Темир	9,8

Солиштирма электр ўтказувчанлик. Солиштирма электр қаршиликка тескари катталик солиштирма электр ўтказувчанлик дейилади:

$$\sigma = \frac{1}{\rho}. \qquad (75.3)$$

Унинг СИ даги бирлиги — $\frac{См}{м}$:

$$[\sigma] = \frac{1}{[\rho]} = \frac{1}{1Ом\cdot м} = 1\frac{См}{м}.$$

Ўтказгич қаршилигининг температурага боғлиқлиги. Ўтказгичнинг солиштирма қаршилиги на фақат материалнинг табиатига, балки унинг температурасига ҳам боғлиқдир. Тажрибаларнинг кўрсатишича, солиштирма қаршилик ва демак қаршилик ҳам температурага чизиқли боғлиқ, яъни

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha t),$$
$$R = R_0(1 + \alpha t), \qquad (75.4)$$

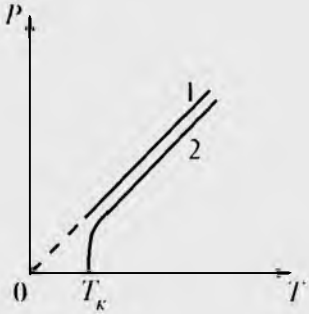
бу ерда ρ_0 ва R — ўтказгичнинг 0 °С даги, ρ ва R лар эса t даги солиштирма қаршилиги ва қаршилиги, α — қаршиликнинг температура коэффициенти дейилади. (75.4) дан α ни топамиз:

$$\alpha = \frac{\rho - \rho_0}{\rho_0 t}, \qquad (75.5)$$

демак, α — ўтказгичнинг температураси бир градусга ўзгарганда унинг солиштирма қаршилигининг нисбий ўзгаришини кўрсатади.

Унча паст бўлмаган температураларда тоза металлар учун $\alpha = \frac{1}{273} K^{-1}$. Шу ҳол учун қаршиликнинг абсолют температурага боғлиқлигини қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин $T = t + 273{,}15$.

$$\rho = \alpha\rho_0 T, \qquad (75.6)$$
$$R = \alpha R_0 T.$$



120- расм.

(75.6) ифодадан кўриниб турибдики, қиздирилганда металларнинг қаршилиги ортади, совитилганда эса камаяди.

Бунга сабаб температура ортиши билан ҳам эркин электронларнинг, ҳам кристалл панжара тугунларидаги мусбат ионларнинг иссиқлик ҳаракат тезликларининг ортишидир. Бу эса ўз навбатида уларнинг кўпроқ тўқнашувига, электронлар энергиясининг кўпроқ йўқотилишига, яъни электр қаршилигининг ортишига олиб келади.

Ўта ўтказувчанлик. (75.6) асосида электр қаршилигининг температурага боғлиқлик графигини чизайлик. 120-расмдаги 1-чизиқ. Лекин тажрибаларнинг кўрсатишича, бир қанча металлар (Al, Pb, Zu ва х.к.) ва уларнинг қотишмаларининг критик дейилувчи жуда паст температураларда $T_к$(0,14 — 20K) қаршиликлари сакраб нолгача камайиши (120-расм, 2-чизиқ) ва улар ўта ўтказувчан бўлиб қолиши кузатилган. Бу ҳодиса биринчи бўлиб 1911 йилда симоб буглари учун Г. Камерлинг-Оннес томонидан кузатилган. Ўта ўтказувчанлик ҳодисаси квант назарияси асосида тушунтирилади.

Ўта ўтказувчанлик ҳодисасидан амалда фойдаланиш критик температуранинг пастлиги натижасида қийинчиликлар туғдирмоқда. Лекин ҳозирги пайтда критик температура 100K атрофида бўлган ўта ўтказувчан керамик моддалар мавжуд. Ўта ўтказувчанлик ҳодисасини амалда қўллаш жуда улкан маблағни иқтисод қилишини эътиборга олиб бу соҳада жадал изланишлар олиб борилмоқда.

Қаршиликнинг температурага боғлиқлигидан техникада фойдаланиш. Қаршилик термометрларининг иш принципи металлар электр қаршилигининг температурага боғлиқлигига асосланган. Бундай термометрлар температурани 0,003 K гача аниқликда ўлчашга имкон беради. Айниқса, суюқлик термометрларини қўллаш қийин бўлган жойларда уларнинг хизмати беқиёсдир.

Синов саволлари

1. Бир жинсли ўтказгичнинг қаршилиги қандай аниқланади? 2. Қаршиликнинг ўтказгич узунлигига ва кўндаланг кесим юзига боғлиқлигини қандай изохлайсиз? 3. Материалнинг табиатини қандай катталик характерлайди? 4. Материалнинг солиштирма қаршилиги нимага тенг? 5. Со-

лиштирма қаршиликнинг СИ даги бирлиги нима? 6. Солиштирма электр ўтказувчанлик деб қандай катталикка айтилади ва унинг СИ даги бирлиги нима? 7. Ўтказгичнинг қаршилиги температурага қандай боғлиқ? 8. Қаршиликнинг температура коэффиценти қандай физик маънога эга ва унинг қиймати нимага тенг? 9. Қаршиликнинг абсолют температурага боғлиқлиги? 10. Температура ортиши билан қаршиликнинг ортиши, температура пасайиши билан қаршиликнинг камайиши қандай тушунтирилади? 11. Ўта ўтказувчанлик деб нимага айтилади? 12. Ўта ўтказувчанликни биринчи бўлиб ким ва қачон кузатган? 13. Ўта ўтказувчанликнинг амалий аҳамияти нимада? 14. Ўта ўтказувчанликнинг ҳозир кенг қўлланила олмаётганлигининг сабаби нимада? 15. Қаршиликнинг температурага боғлиқлиги қаерларда қўлланилади?

76- §. Тўла занжир учун Ом қонуни

Мазмуни: Тўла занжир учун Ом қонунининг ифодаси ва у ҳақда мулоҳазалар.

R қаршиликли ташқи қисм ва *r* ички қаршиликли ток манбаидан иборат ёпиқ занжирни қарайлик (121-расм). Энергиянинг сақланиш қонунига мувофиқ ток манбаининг ЭЮК занжирнинг ташқи ва ички қисмларидаги кучланиш тушишларининг йиғиндисига тенг. Чунки ёпиқ занжир бўйлаб кўчадиган зарядниг потенциали дастлабки ҳолатдаги нуқтага қайтиб келади, яъни: $\varphi_A = \varphi_B$.

Демак,

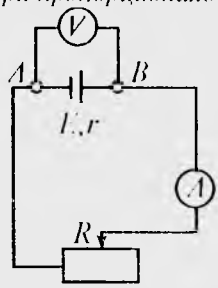
$$\mathcal{E} = IR + Ir, \tag{76.1}$$

бу ерда IR ва Ir — мос равишда занжирнинг ташқи ва ички қисмларидаги кучланиш тушишлари. Ундан ҳосил қилинган

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r} \tag{76.2}$$

ифода тўла занжир учун Ом қонунини ифодалайди:

Ток кучи занжирдаги ЭЮК га тўғри пропорционал, занжирнинг қаршилиги ва ток манбаининг ички қаршилиги йиғиндисига эса тескари пропорционалдир.



121- расм.

Танланган йўналишда ЭЮК мусбат зарядларнинг ҳаракат йўналишига ёрдам берса, ($\mathcal{E} > 0$), танланган йўналишда мусбат мусбат зарядларнинг ҳаракат йўналишига тўсқинлик қилса, ($\mathcal{E} < 0$) манфий ҳисобланади.

(76.2) ифодадан фойдаланишда ток манбаининг ичида манфий қутбдан мусбат қутбга, ташқи занжирда эса мусбатдан манфийга йўналган бўлиши керак.

Синов саволлари

1.Тўла занжир деганда қандай занжир назарда тутилади? 2. Энергия нинг сақланиш қонунига мувофиқ бундай занжирдаги ЭЮК нимага тенг? 3. Тўла занжир учун Ом қонуни? 4. ЭЮК қачон мусбат ва қачон манфий бўлади? 5. ЭЮК ток манба ичида қандай, ташқи занжирда қандай йўналган бўлади?

77- §. Кирхгоф қоидалари. Ўтказгичларни улаш

Мазмуни: Тугун; Кирхгофнинг биринчи қоидаси; Кирхгофнинг иккинчи қоидаси; Кирхгоф қоидаларидан фойдаланиш; ўтказгичларни кетма-кет ва параллел улаш.

Тугун. Амалда, кўпинча тугунлари бор тармоқланган занжирни ҳисоблашга тўғри келади. Тармоқланган занжирнинг тугуни деб камида учта ўтказгич туташган нуқтага айтилади (122-расм). Тугунга келадиган ток мусбат, чиқиб кетадиган ток эса манфий ҳисобланади.

Кирхгофнинг биринчи қоидаси. Кирхгофнинг биринчи қоидаси заряд сақланиш қонунининг натижаси бўлиб, занжирнинг ҳеч бир нуқтасида (жумладан, тугунларида ҳам) заряд йиғилиши ёки йўқолиши мумкин эмаслигини кўрсатади. *Тугунда қўшиладиган токларнинг алгебраик йиғиндиси нолга тенг:*

$$\sum_{i=1}^{k} I_i = 0, \qquad (77.1)$$

бу ерда k — тугунга келадиган токларнинг сони. Бу қоидани бошқачароқ ҳам таърифлаш мумкин.

Бирор вақтда ўтказгичнинг маълум нуқтасига (жумладан, тугунга ҳам) келадиган заряд миқдори шу вақтда ўтказгичнинг шу нуқтасидан кетадиган заряд миқдорига тенг.

122-расмдаги тугун учун Кирхгофнинг биринчи қоидасини қуйидагича ёзиш мумкин:

$$I_1 + I_2 - I_3 + I_4 = 0.$$

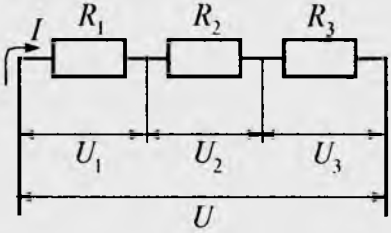
Кирхгофнинг иккинчи қоидаси. Кирхгофнинг иккинчи қоидаси Ом қонунини умумлаштириш бўлиб, исталган ёпиқ контурдаги тармоқланган электр занжирига қўлланиши мумкин.

Исталган ёпиқ контурдаги тармоқланган занжир ЭЮК *ларининг алгебраик йиғиндиси шу контурнинг тегишли қисмидаги ток кучи ва қаршилиги кўпайтмаларининг йиғиндисига тенг.*

$$\sum_{i=1}^{m} I_i \cdot R_i = \sum_{i=1}^{n} \mathcal{E}_i \qquad (77.2)$$

бу ерда m — ёпиқ контурдаги қисмлар сони, n — ток манбаларининг сони.

122- расм.



123- расм.

Кирхгоф қоидаларидан фойдаланиш. Ўзгармас ток тармоқланган занжирини Кирхгоф қоидаларидан фойдаланиб ҳисоблашни қуйидаги тартибда олиб бориш керак:

1) контурни айланишнинг ихтиёрий йўналишини танлаш (соат стрелкаси буйича ёки унга қарама-қарши);

2) занжирнинг барча қисмлари учун токларнинг йўналишини танлаш ва стрелкалар билан белгилаш (қисм-қўшни тугунлар орасидаги занжир қисми), ҳар бир қисмда ток фақат бир хил қиймат ва битта йўналишга эга бўлиши керак;

3) ихтиёрий ёпиқ контурлар шундай танланиши керакки, ҳар бир янги контур ҳеч бўлмаганда битта олдин кўрилган контурларга кирмайдиган занжир қисмига эга бўлиши керак;

4) агар контурнинг айланиш йўналиши I_i токнинг йўналиши билан мос келса, $I_i \cdot R_i$ кўпайтма мусбат ишора билан олинади, ва аксинча;

5) агар контурни айланишда манба ичида манфий қутбдан мусбат қутбга боришга тўғри келса (яъни контурни айланиш йўлида потенциал ўсса), $\mathcal{E}_i$ нинг олдига мусбат ишора қўйилади, тескари ҳолда эса ЭЮК манфий ишора билан олинади.

Агар қаршилиги ва унга уланган ЭЮК нинг қиймати маълум бўлса, Кирхгоф қоидалари тармоқланган занжирнинг исталган қисмидаги ток кучи ва йўналишини ҳисоблашга имкон беради.

k та тугун ҳосил қилувчи n та ўтказгичлардан иборат система учун n та тенглама тузилади: (k — 1) та тенглама тугунлар учун ва n — (k — 1)та тенглама мустақил ёпиқ контурлар учун.

Агар тенгламани ечганда бирор токнинг қиймати манфий бўлиб чиқса, унда унинг абсолют қиймати сақлаб қолиниб токнинг танланган шартли йўналишини қарама-қаршисига ўзгартириш керак.

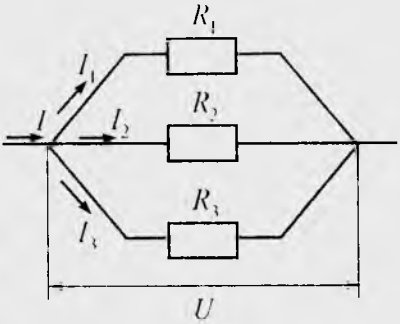
Ўтказгичларни кетма-кет улаш. Ўтказгичлар занжирга кетма-кет ёки параллел уланиши мумкин. Ўтказгичлар кетма-кет уланганда биринчи ўтказгичнинг тугаши иккинчисининг бошланишига, иккинчисининг тугаши эса учинчисининг бошланишига ва ҳоказо, уланиб (123-расм) барча қисмлардаги ток кучи бир хил ($I = \text{const}$), занжирнинг умумий қаршилиги эса алоҳида-алоҳида қаршиликларнинг йиғиндисига тенг бўлади, яъни

$$I = I_1 = I_2 = I_3,$$

$$R = R_1 + R_2 + R_3.$$

Умумий кучланиш тушиши ҳар бир ўтказгичлари кучланишлар тушишларининг йиғиндисига тенг, яъни

$$U = U_1 + U_2 + U_3.$$



124- расм.

Ўтказгичларни параллел улаш. Ўтказгичлар параллел уланганда эса барча ўтказгичларнинг бошланишлари бир нуқтага, тугашлари ҳам бир нуқтага уланади (124-расм), ток кучи тармоқлардан оқадиган ток кучларининг йиғиндисига тенг:

$$I = I_1 = I_2 = I_3,$$

кучланиш тушиши эса бир хил: $U = U_1 + U_2 + U_3 = \text{const}$.

Умумий қаршилик тармоқларнинг қаршиликлари ёрдамида қуйидагича топилади:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}.$$

Синов саволлари

1. Тармоқланган занжирнинг тугуни деб нимага айтилади? 2. Кирхгофнинг биринчи қойдаси қандай таъриф ланади? 3. Кирхгофнинг иккинчи қойдаси қандай таъриф ланади? 4. Кирхгоф қойдаларидан фойдаланишда нималарга эътибор бериш керак? 5. Контурнинг айланиш йуналиши қандай танланади? 6. Занжирнинг бирор қисмида токнинг йуналиши ва қиймати бир хил бўлиши керакми? 7. Ихтиёрий ёпиқ контурлар қандай танланади? 8. Қачон $I_1 = R$ кунаитма мусбат ишора оилан олинади? 9. Қачон ε нинг олдига мусбат ишора қўйилади? 10. k та тугун ва n та ўтказгичдан иборат система учун нечта тенглама тузилади? 11. Ўтказгичларни кетма-кет улаш деб қандай улашга айтилади, чизиб кўрсатинг? 12. Ўтказгичлар кетма-кет уланганда занжирдаги ток кучи, кучланиш ва қаршилик қандай бўлади? 13. Ўтказгичларни параллел улаш деб қандай улашга айтилади, чизиб кўрсатинг? 14. Ўтказгичларни параллел улаганда занжирдаги ток кучи, кучланиш ва қаршилак қандай бўлади?

78- §. Электр энергия манбаларини улаш

Мазмуни: электр энергия манбаларини кетма-кет ва параллел улаш.

Занжирни зарур бўлган электр энергия билан таъминлаш учун ток манбалари ўзаро уланади. Манбаларнинг ягона батареяга уланиши кетма-кет ёки параллел бўлиши мумкин.

Жоуль — Ленц қонуни. Агар ток ҳаракатсиз металл ўтказгичдан ўтаётган бўлса, токнинг барча иши уни қиздиришга кетади. Унда энергиянинг сақланиш қонунига мувофиқ:

$$Q = A.$$

(79.2) га асосан ёзамиз:

$$Q = I \cdot U \cdot t = I^2 t \cdot R = \frac{U^2}{R} t. \qquad (79.4)$$

Бу ифода Жоуль — Ленц қонунини ифодалайди. Уни тажрибалар асосида мустақил равишда Ж. Жоуль ва Э.Ленцлар аниқлашган. Ўтказгичдан ток ўтганда иссиқлик ажралишига сабаб эркин электронларнинг ҳаракат давомида кристалл панжара тугунларидаги ионларга урилиб ўз энергияларини беришларидир. Бунинг натижасида ионларнинг тебранма ҳаракати ортади, яъни ўтказгич қизийди. Шунинг учун ҳам ажралиб чиқадиган иссиқлик миқдори қаршиликка тўғри пропорционалдир.

Токнинг иссиқлик таъсири. Токнинг иссиқлик таъсири кундалик ҳаётимизда ва техникада жуда кенг қўлланилади.

Дастлабки чўғланма лампочка 1872 йил рус инженери А. Лодигин томонидан кашф этилган. У шиша баллон ичида мис симлар орасида беркитилган кўмир таёқчадан иборат бўлган. Ток ўтганда кўмир таёқча чўғдек қизиб ёруглик берган. Ҳозирги пайтда чўғланиш толаси сифатида суюқланиш температураси 3370 °С бўлган вольфрам толасидан фойдаланилади.

Кенг қўлланиладиган электр плита, электр чойнак, электр дазмол, электр иситгичлар ҳам иситиш асбобларига киради. Ишлаб чиқаришда қўлланиладиган қурилмалардан яна бири бу электр печидир. Унинг температураси 3000 °С гача боради. Электр токининг иссиқлик таъсири кенг қўлланиладиган соҳалардан яна бири техникада ва халқ хўжалигида муҳим аҳамиятга эга бўлган пайвандлаш ишларидир.

Токнинг иссиқлик таъсири асосида ишлайдиган кўплаб ўлчов асбоблари, жумладан гальванометрлар мавжуд.

Токнинг иссиқлик таъсирининг фойдали томонларидан ташқари зарарли томонлари ҳам мавжуддир. Жумладан, ток узатиш симларидан ажралиб чиқаётган улкан миқдордаги иссиқлик бефойда сарфланади. Шунинг учун ҳам бу мақсадда солиштирма қаршилиги кичикроқ металлардан фойдаланишга ҳаракат қилинади.

Синов саволлари

1.Токнинг иши қандай аниқланади? 2. Токнинг қуввати қандай аниқланади? 3. Ток иши ва қувватининг СИ даги бирликлари. 4. Ток ишининг системадан ташқари бирликлари. 5. Қачон токнинг барча иши қиздиришга сарфланади? 6. Жоуль — Ленц қонуни. 7. Ўтказгичдан ток ўтганда ис-

ган ва ажратишга сабаб нима? 8. Ажратиб чиқилган иссиқлик миқдорини қаршиликка тўғри пропорционал эканини қандай тушунтирасиз? 9. Токнинг солиштирма иссиқлик қуввати қандай аниқланади? 10. Токнинг иссиқлик таъсиридан фойдаланишга бешта мисол келтиринг. 11. Ток иссиқлик таъсирининг зарарли томонларига мисоллар келтиринг.

Масала ечиш намуналари

1 - масала: 6 В кучланиш остида турган, узунлиги 10 м бўлган темир ўтказгичдаги ток зичлиги аниқлансин.

Берилган:

U=6 В;

l = 10м

P_t=9,8 · 10^{-8} Ом · м

———————

j=?

Ечиш. Ток зичлиги қуйидаги ифода билан аниқланади:

$$j = \frac{I}{S}.$$

Агар занжирнинг бир қисми учун Ом қонуни $I = \frac{U}{R}$ дан фойдаланса к, ток зичлигининг ифодаси $j = \frac{U}{R \cdot S}$ кўринишни олади. Бу ерда $R = \rho \frac{l}{S}$ ўтказгичнинг қаршилиги.

Унда:

$$j = \frac{U \cdot S}{\rho \cdot l \cdot S} = \frac{U}{\rho \cdot l}.$$

Берилганлардан фойдаланиб топамиз:

$$j = \frac{6}{9{,}8 \cdot 10^{-8} \cdot 10\ м} = 6{,}12 \cdot 10^{6}\ \frac{А}{м^2} = 6{,}12\ \frac{мА}{м^2}.$$

Жавоб: j = 6,12 мА/м^2.

2 - масала: Электр қайнатгичнинг чулғами икки қисмдан иборат. Фақат биринчи қисм уланганда сув 15 минутда, фақат иккинчи қисм уланганда эса 30 минутда қайнайди. Агар иккала қисм: 1) кетма-кет; 2) параллел уланса, шу сув қанча вақтда қайнайди?

Берилган:

t_1=15 мин = 900 с;

t_2=30 мин = 1800 с;

———————

1) $t_{кк}$ = ?

2) $t_{п}$ = ?

Ечиш. Барча ҳолларда қайнайдиган сув бир хил бўлганидан $Q = Q_1 = Q_2 = Q_{кк} = Q_{п}$ ва ток кучи ҳам бир хил: $I = I_1 = I_2 = \ = I_{кк} = I_{п}$ (127-расм). Барча ҳоллар учун Жоуль — Ленц қонунини ёзамиз:

Биринчи қисм учун:

$$Q_1 = I_2 R_1 t_1, \qquad (1)$$

иккинчи қисм учун:

$$Q_2 = I^2 R_2 t_2, \qquad (2)$$

кетма-кет уланган

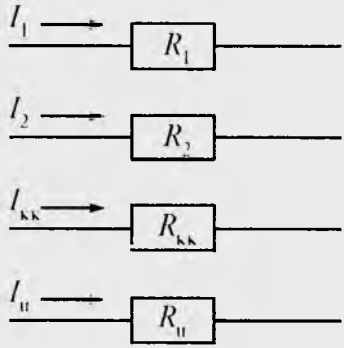
$$Q_{кк} = I^2 R_{кк} t_{кк} = I^2 (R_1 + R_2) t_{кк} \qquad (3)$$

ва параллел уланган ҳол учун

$$Q_п = I^2 R_п t_п = I^2 \left(\frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \right) t_п \qquad (4)$$

(1) ва (2) ифодаларни тенглаштириб,

$$I^2 R_1 t_1 = I^2 R_2 t_2 \text{ ёки } R_1 = \frac{R_2 t_2}{t_1} \qquad (5)$$



127- расм.

ни ҳосил қиламиз. Шунингдек, (2) ва (3) ни тенглаштириб,

$$I^2 (R_1 + R_2) t_{кк} = I^2 R_2 t_2 \text{ ёки } t_{кк} = \frac{R_2 t_2}{R_1 + R_2} \qquad (6)$$

ни (2) ва (4) ни тенглаштириб,

$$I^2 \left(\frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \right) t_п = I^2 R_2 t_2 \text{ ёки } t_п = \frac{t_2 (R_1 + R_2)}{R_1} \qquad (7)$$

ларни ҳосил қиламиз. Энди R_1 ни (5) даги ифодасини (6) ва (7) ларга қўйиб топамиз:

$$t_{кк} = \frac{t_1 \cdot t_2}{t_1 + t_2} \text{ ва } t_п = t_1 + t_2.$$

Берилганлар ёрдамида топамиз:

$$t_{кк} = \frac{900 \cdot 1800}{900 + 1800} \text{с} = 600\text{с} = 10\text{мин},$$

$$t_п = 900\text{с} + 1800\text{с} = 2700\text{с} = 45\text{мин}.$$

Жавоб: $t_{кк} = 10$ мин; $t_п = 45$ мин.

Мустақил ечиш учун масалалар

1. Кўпланг кесим юзи 1,6 мм² бўлган ўтказгичдан 2с давомида $2 \cdot 10^{19}$ тагача электрон ўтса, ток зичлиги нимага тенг бўлади. (i = 1Н/мм²).
2. Шунтланган амперметр 10 А гача токни ўлчайди. Агар амперметрнинг қаршилиги 0,02 Ом, шунтнинг қаршилиги 50 Ом бўлса, амперметр шунтсиз қандай энг катта токни ўлчайди (I = 2А)?
3. Батареянинг ЭЮК 12 В. Ток кучи 4А бўлганда, унинг ФИК η= 0,6 бўлса, батареянинг ички қаршилиги аниқлансин (r = 1,2 Ом).
4. Ташқи қаршилик 80 Ом бўлганда занжирлаги ток кучи 0,8 А, ташқи қаршилик 15 Ом бўлганда ток кучи 0,5 А га тенг бўлди. ЭЮК манбаининг қисқа туташувдаги ток кучи аниқлансин ($I_{кт}$ = 0,46 А).

XIV БОБ. ТУРЛИ МУҲИТЛАРДА ЭЛЕКТР ТОКИ

Биз олдинги бобда электр токи ҳақидаги тушунча ва унинг асосий қонунлари билан танишдик. Мулоҳазаларимизда асосан биринчи тур ўтказгичлар — металлар ҳақида фикр юритдик. Ушбу бобда эса бу мулоҳазаларимизни янада чуқурлаштирамиз ва шу билан бирга иккинчи тур ўтказгичлар — эритмалар ва газларда ток қонунлари билан танишамиз. Иккинчи тур ўтказгичлардаги ток қонунларининг техникадаги аҳамияти уларни чуқур ўрганишни тақозо этади. Кейинги пайтларда жадал ривожланиб, кундалик ҳаётимизнинг ажралмас қисмини ташкил этаётган радиотехника қурилмалари, электрон ҳисоблаш машиналарининг асосини ташкил этувчи ярим ўтказгичларда электр токининг табиатини ўрганиш айниқса муҳим аҳамиятга эга.

80- §. Металларда электр токи

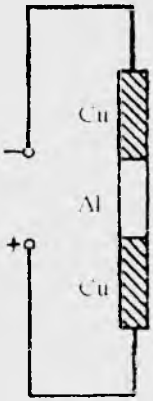
М а з м у н и : металларда заряд ташувчилар; эркин электронлар.

Металларда заряд ташувчилар. Металларда заряд ташувчи зарраларнинг табиати ҳақида турли мулоҳазалар мавжуд бўлган. Бундай зарралар кристалл панжара ионларига кучсиз боғланган электронлар, деган мулоҳазани немис физиги П.Друде (1863 — 1906) олга сурган ва металларда электр ўтказувчанликнинг классик назариясини яратган. Унинг бу ғояси голландиялик физик Х.Лоренц томонидан ривожлантирилган ва бир қанча тажрибаларда ўз исботини топган. Немис физиги К.Рикке (1845 — 1915) 1901 йилда қуйидагича тажриба ўтказган . У учта бир хил радиусли жуда яхши силлиқланган Cu, Al, Cu цилиндрчаларни устма-уст қўйиб улардан катта миқдордаги зарядни ($\approx 3{,}5 \cdot 10^6$ Кл ўтказган (128-расм)).

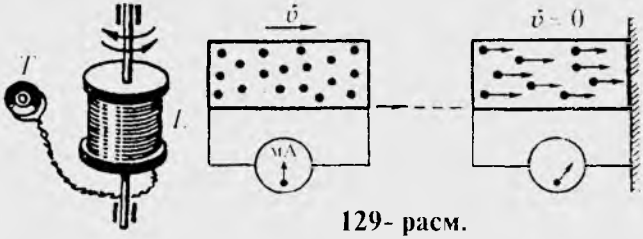
Агар борди-ю, заряд ташувчи зарралар ионлар бўлганида эди, цилиндрларда қўпни металлнинг намуналари бўлиши керак эди. Жуда нозик текширувлар ҳам моддаларнинг, ҳаттоки заррача кўчишини қайд этмаган.

Демак, заряд ташувчилар ҳар иккала металлга ҳам хос зарралар бўлиши керак. Бундай зарралар эса 1887 йилда инглиз физиги Ж.Томсон (1856 — 1940) томонидан кашф этилган электрон бўлиши мумкин.

Металларда заряд ташувчи зарралар электрон эканлигини тасдиқловчи яна бир қанча тажрибалар рус физиклари С.Манделштам (1879 — 1944) ва Н.Папалекси (1886 — 1947) таклиф қилган ғояга асосан ўтказилган.



128- расм.



129- расм.

Ғоянинг мазмуни қуйидагича: агар металлда кучсиз боғланган заряд ташувчилар мавжуд бўлса, унда тез ҳаракатланаётган металл кескин тўхтатилганда бу зарралар ўз инерциялари билан, кескин тормозланган автобуслаги йўловчилар каби олдинга кучиши ва натижада электр токи пайдо бўлиши керак (129-расм). Ўтказилган кўплаб тажрибалар бу фикрни тўла тасдиқлади ва металларда заряд ташувчи зарралар электронлар эканлигини исботлади.

Эркин электронлар. Хўш, металларга эркин электронлар қаердан келади? Уларнинг пайдо бўлиши қуйидагича тушунтирилади: металлнинг кристалл панжараси ҳосил бўлишида атом ядроси билан кучсиз боғланган электронлар атомдан узилиб чиқади ва эркин электронга айланиб бутун ҳажм бўйлаб ҳаракатланиши мумкин бўлиб қолади. Демак, панжара тугунларида металл ионлари жойланиб, улар орасида гўёки идеал газга ўхшаш электрон газ ҳосил қилувчи, эркин электронлар бетартиб ҳаракатда бўлади. Электронлар ўз ҳаракатлари давомида панжарадаги ионлар билан тўқнашиб туради ва натижада улар ўртасида термодинамик мувозанат вужудга келади. Ҳисобларнинг кўрсатишича T=300 К да электроннинг иссиқлик ҳаракат ўртача тезлиги $\langle u \rangle = 1{,}1 \cdot 10^5$ м/с ни ташкил қилади. Электронларнинг электр майдон таъсиридаги йўналтирилган ҳаракат ўртача тезлиги эса $\langle v \rangle = 8 \cdot 10^{-4}$ м/с атрофида бўлади (72- § га қаранг). Яъни юқорида қайд этилганидек электронларнинг йўналтирилган ҳаракат тезлиги уларнинг иссиқлик ҳаракат ўртача тезлигидан қарийб 10^8 марта кичик. Шунинг учун ҳам бу тезлик электр токининг тарқалиш тезлиги бўлолмайди. Электр токи жуда узоқ масофаларга бир лаҳзалаёқ узатилишига сабаб, электр занжири уланишидаёқ занжир бўйлаб электр майдонининг ёруғлик тезлигига тенг тезлик ($c = 3 \cdot 10^8$ м/с) билан тарқалишидир. Натижада бутун занжир бўйлаб ўзгармас электр майдон вужудга келади ва электронларни бетартиб ҳаракатга келтиради. Шунинг учун ҳам занжир уланишидаёқ унда электр токи вужудга келади.

Синов саволлари

1. Иккинчи тур ўтказгичлар деб қандай ўтказгичларга айтилади? 2. Иккинчи тур ўтказгичларда электр ўтказувчанликни ўрганишнинг аҳамияти. 3. Друде назарияси. 4. Рикке тажрибаси ва унинг натижаси. 5. Рикке тажрибасидан чиқарилган хулоса. 6. Мандельштам ва Папалекси таклифи асосида ўтказилган тажриба ва унинг натижаси. 7. Металларда эркин электрон қаердан келади? 8. Нима учун электроннинг йўналтирилган ҳаракат тезлиги электр токининг тезлиги бўлолмайди?

81- §. Чиқиш иши

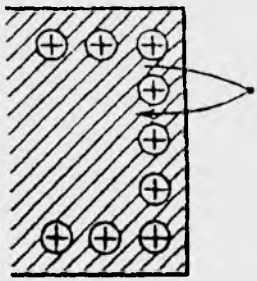
Мазмуни: чиқиш иши; чиқиш иши мавжудлигининг сабаблари; потенциал тўсиқ; энергиянинг электрон-вольт бирлиги.

Чиқиш иши. Олдинги мавзуда баён этилганидек, металлардаги эркин электронлар одатдаги температураларда ҳам маълум иссиқлик ҳаракат тезлиги $\langle u \rangle = 1{,}1 \cdot 10^{5}$ м/с га ва кинетик энергия $E_k = \frac{m\langle u \rangle^2}{2} \approx 5{,}5 \cdot 10^{-21}$ Ж га эга бўлади. Лекин улар металлни тарк этолмайди. Демак, уларни металлда тутиб турадиган қандайлир куч бўлиши керак. Электрон металлни тарк этиши учун бу кучнинг қаршилигини енгиши, яъни унга қарши иш бажариши зарур. Электронни металлдан ажратиб, вакуумга чиқариш учун бажариш керак бўлган иш *чиқиш иши* дейилади.

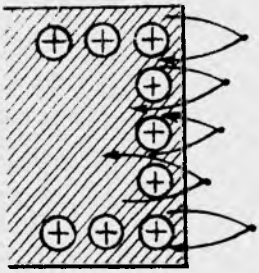
Чиқиш иши мавжудлигининг сабаблари. Чиқиш иши мавжудлигининг асосий сабаблари қуйидагиларлир:

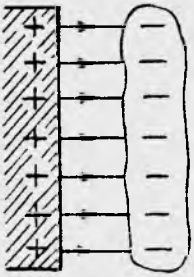
1) Агар электрон бирор сабабга кура металлни тарк этса, унинг ўрнида ортиқча мусбат зарял вужудга келади ва у Кулон қонунига мувофиқ электронни ўзига тортади (130-расм);

2) Баъзи электронлар металлни тарк этиб, ундан атом катталикларидек масофага узоқлашади ва металл сиртида «электронлар булутини» ҳосил қилади. Бу булут панжарадаги мусбат ионларнинг



130- расм.





131- расм.

ташқи қатлами билан бирга қўш қаватли электр қатламини ҳосил қилади. У гўёки зарядланган ясси конденсаторга ўхшаб, майдони қопламалари орасида мужассамлашган бўлади ва ташқи фазода электр майдони ҳосил қилмайди. Электрон бу қўш қаватли қатламдан ўтиши учун маълум иш бажариши керак (131-расм).

Потенциал тўсиқ. Демак, электрон металлдан чиқишида металл сирти ва электрон булути орасида вужудга келадиган $\Delta\varphi$ потенциал тўсиқдан ўтиши керак. Бу тўсиқ электронларнинг металлдан учиб чиқиш жараёнига тўсқинлик қилади. Чунки электрон металлдан узилиб чиқишида шу тўсиқни енгиш учун маълум иш бажариши зарур. Чиқиш иши қуйидаги формула ёрдамида аниқланади:

$$A = e \cdot \Delta\varphi. \qquad (81.1)$$

Агар электроннинг кинетик энергияси

$$E_k = \frac{mv^2}{2} > 2 \qquad (81.2)$$

шартни бажарса, электрон металлни тарк этади, акс ҳолда тарк этолмайди.

$\Delta\varphi = u_i = \dfrac{A}{e}$ потенциал *ионлаштирувчи потенциал* дейилади.

Энергиянинг электрон-вольт бирлиги. Одатда чиқиш иши электрон-вольтларда (эВ) ҳисобланади. 1 эВ — электроннинг 1 В потенциал фарқини ўтишда оладиган энергияси:

$$1\text{эВ} = 1\text{В} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}\,\text{Кл} = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\,\frac{\text{Ж}}{\text{Кл}} \cdot \text{Кл} = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\,\text{Ж}.$$

Хона температурасида металларни тарк этиш учун етарли энергияга эга бўладиган электронларнинг сони жуда кам бўлиб, улар ҳам металларнинг табиатига боғлиқ. Хона температурасида ($T \approx 300$ К) электроннинг энергияси:

$$kT = 1{,}38 \cdot 10^{-23}\,\frac{\text{Ж}}{\text{К}} \cdot 300\ \text{К} = 4{,}15 \cdot 10^{-21}\,\text{Ж} = 0{,}026\text{эВ}.$$

Баъзи металлар учун электронларнинг чиқиш ишлари қуйидаги жадвалда келтирилган

Металл	A, эВ	Металл	A, эВ
Алюминий	3,7	Платина	6,3
Вольфрам	4,5	Рух	4,0
Литий	2,3	Цезий	1,8
Мис	4,3		

Синов саволлари

1. Электроннинг металлдаги иссиқлик ҳаракат кинетик энергияси қанча? 2. Электрон нима учун метални тарк этолмайди? 3. Чиқиш иши деб қандай ишга айтилади? 4.Чиқиш иши мавжудлигининг биринчи сабаби нима? 5. Чиқиш иши мавжудлигининг иккинчи сабаби нима? 6. Потенциал тўсиқ қандай ҳосил бўлади? 7. Потенциал тўсиқнинг баландлиги нимага тенг? 8. Электроннинг металлдан чиқиш иши қандай аниқланади? 9. Қандай шарт бажарилганда электрон металлни тарк этиши мумкин? 10. 1 эВ деб қандай энергияга айтилади? 11. 1 эВ неча жоулга тенг? Хона температурасида электроннинг энергияси неча эВ бўлади?

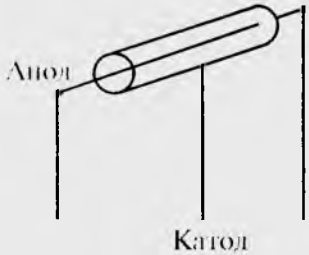
82- §. Эмиссия ҳодисалари ва уларнинг қўлланилиши

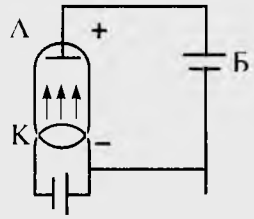
Мазмуни: электрон эмиссияси; термоэлектрон эмиссияси; вакуумли диод; диоднинг вольт-ампер характеристикаси; вакуумли триод; электрон-нурли трубка.

Электрон эмиссияси. Агар металлардаги электронларга чиқиш ишини бажара оладиган энергия берилса, электронларнинг бир қисми металлни тарк этиши мумкин. Электронларни бундай чиқариш ҳодисаси *электрон эмиссияси* дейилади. Электронларга энергия бериш усулига қараб термоэлектрон, фотоэлектрон, автоэлектрон эмиссия ҳодисалари мавжуд.

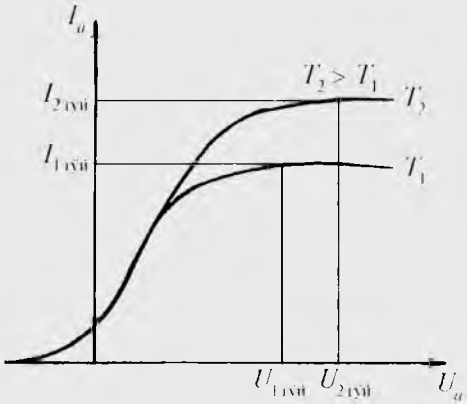
Термоэлектрон эмиссия. Термоэлектрон эмиссия — бу қизитилган металлнинг электронлар чиқаришидир. Металлдаги эркин электронларнинг концентрацияси жуда катта бўлиб, ҳатто ўртача температураларда ҳам чиқиш ишини бажариб, металлни тарк этадиган электронлар мавжуд бўлади. Температура кўтари ши билан эса кинетик энергияси чиқиш ишидан каттароқ бўлган электронларнинг сони ортади ва термоэлектрон эмиссия ҳодисаси сезиларли бўлиб қолади. Термоэлектрон эмиссия ҳодисасининг қонунларини икки электродли лампа — вакуумли диод ёрдамида ўрганиш мумкин.

Вакуумли диод. Вакуумли диод — катод *К* ва анод *А* электродлардан иборат ҳавоси сўриб олинган баллондир. Катод электр токи ёрдамида қизитиладиган бўлиб қийин эрийдиган металлдан (мисол учун вольфрамдан) ясалган металл симдан иборат бўлади. Анод эса катодни ўраб турадиган металл цилиндр шаклида бўлади (132-расм). Агар диод расмдагидек занжирга уланиб, катод қиздирилса ва анод батанинг мусбат, катод манфий қутбларига уланса, занжирда ток вужудга келади. Агар батарея *Б* нинг қутбларини ўзгартирсак, катодни қанчалик қизитишимизлан қатъи назар занжирда ток бўлмайди. Демак, катод манфий зарядланган зарралар — электронларни чиқарали.





132- расм. *а)* *б)*



133- расм.

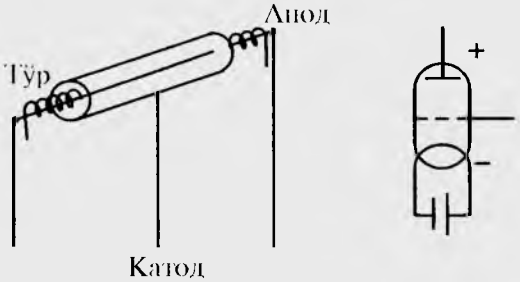
Диоднинг вольт-ампер характеристикаси. Энди катоднинг температурасини ўзгармас қилиб сақлаб, анод токи I_a ва кучланиши U_a ларнинг боғлиқлик графигини, яъни диоднинг вольт-амиер характеристикасини тузамиз (133-расм).

Маълум бўлишича, у чизиқли эмас экан ва демак, вакуумли диод учун Ом қонуни бажарилмайди. Дастлаб кучланиш ортиши билан ток секин ортади. Бу пайтда манфий зарядли электрон булут катоддан учиб чиққан электронларнинг ҳаракатига тўсқинлик қилади ва итариш кучи таъсирида электронларнинг бир қисми катодга қайтса, бир қисми анодга етади.

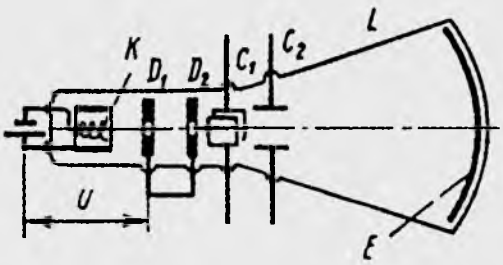
Анод кучланиши ортиши билан электрон булутнинг зичлиги камаяди ва ток кучи ортади. Кучланишнинг маълум $U_a = U_{\text{тўй}}$ қийматида катоддан учиб чиқадиган электронларнинг барчаси анодга етиб боради ва ток кучи ўзининг максимал қийматига эришиб, кучланишнинг янада ортиши ток кучини ўзгартира олмайди. Ток кучининг бу қийматига тўйиниш токи $I_{\text{тўй}}$ дейилади. Агар катоднинг температураси ўзгарса, тўйиниш токининг қиймати ҳам ўзгаради.

Агар батареянинг қутблари алмаштириб уланса, занжирда ток бўлмайди. Демак диодлар бир томонлама ток ўтказиш хусусиятига эга. Шунинг учун ҳам улар тўғрилагич сифатида ишлатилади.

Вакуумли триод. Лампадаги токни бошқариш учун унга битта, иккита ёки бир нечта *тўр* деб аталувчи қўшимча электродлар киритилади (134-расм). Одатда тўр сим спираль кўринишида бўлиб анод ва катод ўртасида ўрнатилади (134- *а* расм). Тўр катод яқинида шундай жойлаштириладики, ундаги потенциалнинг кичкина ўзгариши ҳам анод токининг ўзгаришига олиб келади.



а) *б)* **134- расм.**



135- расм.

Агар тўрнинг потенциали катодга нисбатан нолга тенг бўлса, триод худди диоддек ишлайди. Тўрнинг потенциали мусбат бўлганда электрон булутнинг зичлиги кичик ва демак, ток катта бўлади. Тўрнинг манфий потенциалида эса катоддаги электрон булутнинг зичлиги ортади, ток эса камаяди.Тўр потенциалининг манфийлиги ортиши билан ток камая боради ва манфий потенциалнинг маълум қийматида нолга тенг бўлади. Тўрнинг анод токи нолга тенг бўладиган манфий қиймати *ёпиш кучланиши* дейилади. Ёпиш кучланиши анод кучланишига боғлиқ. U_a қанча катта бўлса, ёпиш кучланиши ҳам шунча катта бўлади. Демак, тўр кучланишини ўзгартириш билан занжирдаги анод токини бошқариш мумкин, шунинг учун ҳам тўрни *бошқарувчи* дейилади.

Электрон лампалар турли радиотехник қурилмаларда, жумладан, кучайтиргичларда, генераторларда кенг қўлланилади.

Электрон-нурли трубка. Электрон- нурли трубканинг тузилиши 135-расмда кўрсатилган. У вакуумли шиша баллон *L* дан иборат бўлиб, ичида электронларни чиқарувчи қизиган катод *K* дан иборат «электрон тўп» ва D_1, D_2 диафрагмали анодлар жойлаштирилган. Катод ва анод ўртасидаги *U* потенциаллар фарқи электронларни катта тезликкача тезлаштириш ва ингичка даста ҳосил қилиш имконини беради. Электрон даста флуоресценцияланган *E* экранга тушганда ёруғ, нурланувчи нуқта вужудга келади. Электрон нурлар дастаси бир-бирига перпендикуляр жойлашган иккита c_1 ва c_2 пластиналар жуфтлиги ёрдамида бошқарилади. c_1 пластиналар майдони нурни горизонтал, c_2

пластиналар майдони эса вертикал йўналишда бошқаради. c_1 ва c_2 пластиналарга бериладиган кучланишга қараб экрандаги нурли доғ ўз жойида туриши, тўғри чизиқ ёки синусоида ҳосил қилиб ҳаракатланиши мумин. Электрон-нурли трубка осциллограф дейилувчи қурилманинг ва телевизорнинг асосини ташкил қилади.

Синов саволлари

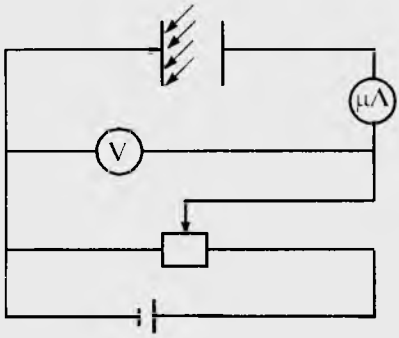
1. Электрон эмиссияси деб қандай ҳодисага айтилади? 2. Термоэлектрон эмиссияси деб-чи? 3. Ҳаракатнинг ортиши термоэлектрон ҳодисага қандай таъсир қилади? 4. Вакуумли диод қандай тузилган? 5. Анод ва катод манбанинг қандай қутбларига уланади ва нима учун? 6. Катод нима учун қиздирилади? 7. Электронлар қайси электроддан чиқади? 8. Диоднинг вольт-ампер характеристикаси нима? 9. Вольт-ампер характеристикасининг чизиқли эмаслигини тушунтиринг. 10. Тўйиниш токи деб қандай токка айтилади? 11. Агар манбанинг қутблари алмаштириб уланса, диодли занжирда ток бўладими? 12. Диоддлар қаерда ишлатилади? 13. Вакуумли триод деб қандай қурилмага айтилади? 14. Триодда торнинг вазифаси нимадан иборат? 15. Ёпиш кучланиши деб қандай кучланишга айтилади? 16. Триодлар қаерда ишлатилади? 17. Электрон-нурли трубка қандай тузилган? 18. Электрон-нурли трубка қаерда ишлатилади? 19. Электрон нурлар дастаси қандай ҳосил қилинади? 20. Электрон нурлар дастаси қандай бошқарилади?

83- §. Газларда электр токи. Мустақил ва номустақил разрядлар

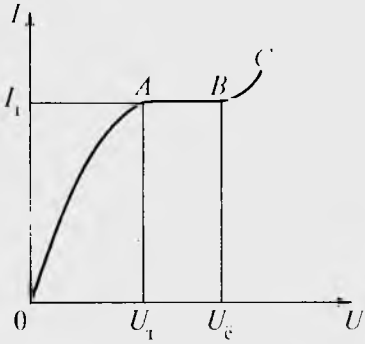
М а з м у н и : газ разрядлари; рекомбинация; номустақил разряд; мустақил разряд; тож разряд; учқун разряд; ёлқин разряд; электр ёйи.

Газ разрядлари. Унча юқори бўлмаган температураларда газ электр токини ўтказмайди. У ўтказувчан бўлиши учун молекулаларининг бирор қисми бўлиниб, ионлар ва эркин электронларга ажралиши керак. Бунинг учун эса газга бирор ионлаштирувчи таъсир кўрсатилиши зарур. Ионизатор таъсирида атом ёки молекулаларнинг электрон қобигидан бир ёки бир нечта электронларнинг узилиб чиқиши рўй беради. Бу эса газда эркин электронлар ва мусбат ионлар вужудга келишига олиб келади. Электронлар ҳам ўз навбатида нейтрал атомлар ёки молекулалар билан бирикиб, манфий зарядланган ионларни вужудга келтиради. Демак, ионлашган газда эркин электронлар, мусбат ва манфий ионлар мавжуд бўлади. Газдан электр токининг ўтиши *газ разряди* дейилади.

Рекомбинация. Газда ионлашиш жараёни билан бирга, *рекомбинация* — ионларнинг нейтрал атомлар ёки молекулаларга айланиш жараёни ҳам рўй беради. Агар ташқи ионизаторнинг таъсири тўхтаса, газнинг ўтказувчанлиги ёмонлаша боради. Ионизаторнинг қуввати



136- расм.



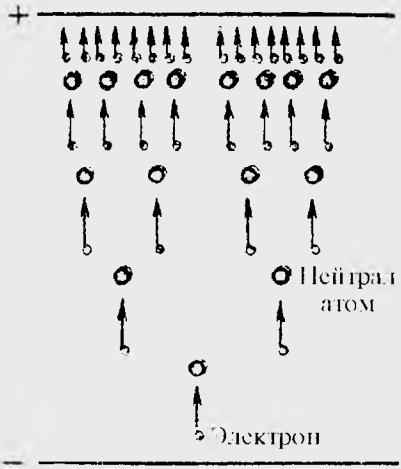
137- расм.

ўзгармайдиган бўлса, ионлашиш ва рекомбинация жараёнлари ўртасида динамик мувозанат вазияти вужудга келади. Бунда ионлашиш натижасида вужудга келадиган зарядланган зарралар жуфтининг ўртача сони рекомбинация натижасида йўқоладиганларининг ўртача сонига тенг бўлади.

Номустақил разряд. Газда токнинг ташқи ионлаштирувчи таъсирида вужудга келиши *номустақил газ разряди* дейилади. Бу жараённи батафсилроқ ўрганайлик. Айтайлик, конденсатор қопламалари орасидаги бўшлиққа ультрабинафша нурлар таъсир этаётган бўлсин (136-расм). Конденсатор қопламалари орасида ионлашув жараёни рўй бериб, қарама-қарши зарядланган зарралар вужудга келади. Агар конденсатор қопламалари орасидаги кучланиш нолга тенг бўлса (137-расм, 0 нуқта) ток ҳам нолга тенг бўлади, чунки ҳосил бўлган заряд ташувчилар бетартиб ҳаракатда бўлади. Конденсатор қопламалари орасидаги кучланиш ортгирилган сари кўпроқ ионлар ва электронлар йўналтирилган ҳаракатга келади. Улар конденсатор қопламаларига етишишади ва ток кучи ортиб боради. Кучланиш U_1 қийматига эришганда ҳосил бўлган зарядларнинг барчаси қопламаларга етиб боради ва ток шу ионлашиш даражаси учун ўзининг энг катта I_1 қийматига эришади. Кучланишнинг $U_ё$ қийматгача ортиши ток кучини ўзгартира олмайди. Агар ионлаштирувчининг таъсири тўхтатилса, ионларни вужудга келтирувчи бошқа манба бўлмаганлиги учун разряд ҳам тўхтайди. Шунинг учун ҳам бундай разряд *номустақил разряд* дейилади.

Мустақил разряд. Кучланишнинг янада оширилишида ($U_ё$ ва юқори) ток кучи кескин ортади. Ташқи ионизатор олинганида ҳам разряд давом этади. Демак, энди газнинг электр ўтказувчанлигини таъминлаш учун зарур бўлган ионларни разряднинг ўзи вужудга келтиради. Ташқи ионизаторнинг таъсири тугагандан кейин ҳам давом этадиган разряд *мустақил газ разряди* дейилади.

Мустақил газ разряди вужудга келадиган $U_ё$ кучланиш газ *разрядини ёқиш кучланиши* ёки *тешиш кучланиши* дейилади.



138- расм.

Мустақил газ разряди электр майдони томонидан тезлаштирилган электронларнинг урилиш ионлаштириши натижасида вужудга келади. Электронлар $\vec{E}$ майдон таъсирида тезланувчан ҳаракат қилади ва электр майдон кучланишининг иши ҳисобига кинетик энергияси ортади. Агар электроннинг энергияси атомнинг ионлашиш энергиясига тенг ёки ундан катта бўлса, уларнинг тўқнашуви натижасида атом ионлашиши мумкин. Натижада яна бир мусбат ион ва электрон вужудга келади. Электр майдон кучланганлиги катта бўлганлиги сабабли ўз энергиясини йўқотган олдинги электрон ҳам ва янги ҳосил бўлган электрон ҳам ионлаштириш учун зарур бўлган энергияни тўплайди. Кейинги тўқнашувда эса энди тўртта электрон ва иккита ион вужудга келади. Учинчи тўқнашувдан сўнг электронлар сони саккизта, тўртинчисидан кейин — ўн олтита ва ҳоказо давом этади. Натижада электронлар ва ионлар оқими ҳосил бўлади (138-расмда электронлар оқими кўрсатилган).

Мустақил разряд ҳосил бўлиши учун электронлар ва ионлар оқимининг ҳосил бўлиши зарур бўлса-да, лекин етарли эмас. Ташқи ионлаштирувчи ўчирилгандан кейин ҳам анодга кетувчи электронларнинг ўрнига янгиларини ҳосил қилиш керак бўлади. Бу электронлар майдон таъсирида катод томонга ҳаракат қиладиган мусбат ионлар ва фотонлар томонидан катоддан уриб чиқарилади. Катод сиртидан электронларни уриб чиқариш ҳодисаси *иккиламчи электрон эмиссия* дейилади. Уриб чиқариладиган электронларнинг сони ионнинг энергияси ва катод материалига боғлиқ бўлади. Бир пайтнинг ўзида ҳам электронлар ва ионлар оқимининг вужудга келиши, ҳам иккинчи электрон эмиссия ҳодисасининг рўй беришигина мустақил разряднинг вужудга келишига олиб келади. Шу ҳолдагина газ оралигининг тешилиши ва мустақил газ разрядининг ёқилиши рўй беради.

Тожли разряд. Агар атмосфера босимида бирининг учи учли, иккинчисиники ясси бўлган электродлар ёрдамида бир жинслимас электр майдон ҳосил қилинса, ҳар бирининг олдида электр майдоннинг кучланганлиги турлича бўлади. Учли жойда заряд зичлиги жуда катта ва шунинг учун ҳам кучланиш ортганда бу ердаги кучланиш ясси электроддагига нисбатан олдинроқ E_0 қийматга эришади. Учли электрод олдидаги кучланганлик 30 кВ/см га етганда газнинг тешилиши рўй бериб, электрод атрофида тожга ўхшаш чақнаш ҳосил бўлади. Шунинг учун ҳам у *тожли разряд* дейилади.

Табиатда тожли разряд атмосфера электр майдони таъсирида дарахтларнинг, кема мачталарининг учларида ва бошқа учли нарсаларнинг олдида ҳосил бўлиши мумкин. Шунингдек, уни юқори кучланишли электр энергия узатувчи симлар олдида ҳам кузатиш мумкин. Техникада тожли разряд саноатда ишлатиладиган газларни қаттиқ ва суюқ аралашмалардан тозалаш учун фойдаланиладиган электр фильтрларда фойдаланилади.

Учқунли разряд. Кучланиш ортиши билан тожнинг ўрнига янада кучлироқ электрон оқимлари ҳосил бўлади, нурланаётган шохчалар пайдо бўлиб, тожли разряд шокилали разрядга ўтади. Агар кучланиш янада орттирилса, шокиланинг шохчалари ўсиб янада узунлашади ва улардан бирортаси иккинчи электродга етганида оралиқдаги газ тешилиб учқун ҳосил бўлади. Учқун разряд узилиш характерига эга, чунки газнинг тешилишидан кейин электродлардаги кучланиш кескин камаяди, яъни электродлар ўртасидаги оралиқда қисқа туташув рўй беради. Учқунли разряд йўқолади, кучланиш янада ортади ва тешилиш жараёни такрорланади.

Биз табиатда кузатадиган чақмоқ табиий учқунли разряднинг улкан электр учқунидир. Маълумки, Ернинг сиртида электр майдон бўлиб, момақалдироқдан олдин у жуда кучаяди. Бунга сабаб булутлардаги электр зарядларидир. Одатда булутнинг пастки, Ерга қараган қисмида манфий, юқори қисмида эса мусбат зарядлар бўлади. Чақмоқ ёки булутлар орасида, ёки булут ва Ер орасида ҳосил бўлади. Чақмоқнинг баъзи разрядлари микросекундлар давомида рўй бериб, ток кучи 500 000 А га етади. Чақмоқ бўлишидан олдинги кучланиш 10^8 — 10^9 В гача бўлиши мумкин. Чақмоқда ҳавонинг кучли қизиши рўй бериб, кучли товуш тулқини — момақалдироқ вужудга келади.

Турли биноларни чақмоқдан ҳимоя қилиш учун чақмоқ қайтаргичлар қўйилади. Улар учли металл ланғарлардан иборат бўлиб, ҳимоя қилинадиган бинодан баландроқ ўрнатилади ва ерга уланади. Унинг иш принципи зарядни таёқ учидан ерга ўтиб кетишига асосланган.

Электр ёйи. Агар занжирда кучли ток манбаи мавжуд бўлса, учқунни электр ёйига айлантириш мумкин. Электр ёйи биринчи бўлиб рус физиги В.Петров томонидан 1802 йилда ҳосил қилинган. У иккита кўмир парчасини олиб, гальваник элементларнинг кучли батареясига бирлаштирган ва олдин уларни бир-бирларига тегдириб, сўнгра ажрата бошлаган. Идеал боғланиш бўлмаганлиги учун кўмир бўлакларининг бир-бирларига тегиб турган жойларида катта қаршилик вужудга келган. Ток ўтганда кўмир уланган сим учларининг қизиши кузатилса-да, иссиқлик ўтказувчанлиги катта бўлмаганлиги учун кўмир бўлакчалари қизимаган. Кўмир бўлакчалари ажратилганда, қизиган катоддан термоэлектрон эмиссия натижасида газ оралиғининг иссиқлик ионлашуви рўй берган. Ёйнинг энг қизиган жойи электронларнинг узилиши натижасида мусбат электродда ҳосил бўлган чуқурча — ёйнинг огзидир. Нормал атмосфера босимида ёй огзидаги температура 4000 °С гача кўтарилиши мумкин. Ёй разряди вужудга

139- расм.

келиши учун газ ионлашувининг асосий сабабчиси термоэлектрон эмиссия, яъни электронларнинг кучли қизиган жисмлардан чиқишидир. Ёй разряди металларни пайвандлаш ва кесишда, кучли ёруғлик манбаи сифатида прожектор, проекцион ва киноаппаратларда фойдаланилади.

Ёлқинли разряд. Агар шиша найдан ҳаво сўриб олиниб, унда ўрнатилган электродларга бир неча юз вольт ўзгармас кучланиш берилса газ разряди вужудга келади. Бу разряд *ёлқин разряд* дейилади (139-расм).

Газ сийраклашганда қўшни атомлар орасидаги масофа ортиб боради ва натижада электроннинг эркин югуриш йўлининг узунлиги ҳам ортади. Натижада гарчи электродлар орасидаги кучланиш кичик бўлса-да, электронлар тўқнашиб ионлаштириш учун етарли энергия тўплаши мумкин. Агар кучланишни ўзгартирмай сақлаб, найдаги босимни аста-секин ўзгартириб борсак, олдин шокилали разряд, кейин эса электродларни туташтирувчи ингичка ёруғ эгри-бугри канал пайдо бўлади. Босим 1 – 15 Па атрофида бўлганда эса разряд 139- расмдагидек кўринишни олади. Катод ёнида ингичка ёруғ қатлам *1* (катод пардаси), ундан кейин катод қоронғи фазаси *2*, ундан сўнг ёруғ қатлам *3* (ёлқинли нурланиш) ва фарадей қоронғи фазаси дейилувчи иккинчи қоронғи фаза *4* жойлашган. Ундан кейин эса ёруғ соҳа *5* жойлашган бўлиб, унга *мусбат устун* дейилади.

Ёлқинли разрядда газнинг бундай нурланишига сабаб разряд найидаги потенциалнинг тақсимланишидир. Мусбат устуннинг нурланиши ғалаёнланган атомлар нурланишининг натижаси бўлганлиги сабабли ўзига хос рангга эга бўлади. Бундан рекламаларда фойдаланишади. Агар най неон билан тўлдирилса сариқ-қизил, аргон билан тўлдирилса кўк-яшил рангли нурланиш рўй беради.

Ёлқинли разряднинг маълум шартларида катод материалининг сочилиб кетиши рўй беради. Бу ҳол сиртларни металлаштириш, ойна ва ярим шаффоф пластиналарни ҳосил қилишда фойдаланилади.

Синов саволлари

1. Нима учун унча юқори бўлмаган температураларда газдан электр токи ўтмайди? 2. Газдан электр токи ўтиши учун қандай шарт бажарилиши керак? 3. Газ разряди деб нимага айтилади? 4. Газда ионлар қаердан пайдо бўлади? 5. Рекомбинация деб қандай жараёнга айтилади? 6. Динамик мувозанат деб қандай вазиятга айтилади? 7. Номустақил разряд деб қандай разрядга айтилади? 8. Ток ўзининг $I_т$ қийматига қачон эришади? 9. Мустақил разряд деб қандай разрядга айтилади? 10. Ёқиш кучланиши деб қан-

лай кучланишга айтилади? 11. Мустақил разрядда электронлар ва ионлар оқими қандай ҳосил бўлади? 12. Мустақил разряд ҳосил бўлиши учун электронлар ва ионлар оқимининг бўлиши старлими? 13. Иккиламчи электрон эмиссия деб қандай ҳодисага айтилади? 14. Тожли разряд деб қандай разрядга айтилади? 15. Тожли разрядни қаерда кузатиш мумкин? 16. Тожли разряд қаерларда ишлатилади? 17. Учқунли разряд қандай ҳосил бўлади? 18. Чақмоқ қандай разряд? У қандай ва қаерда ҳосил бўлади? 19. Чақмоқда ток кучи ва кучланишнинг қийматлари қанча бўлади? 20. Чақмоқдан ҳимоя қилиш воситалари нима учун керак ва қандай ишлайди? 21. Электр ёйи қандай ҳосил қилинади? 22. Электр ёйининг вужудга келишига сабаб нима? 23. Электр ёйи қаерларда ишлатилади? 24. Ёлқинли разряд қандай ҳосил қилинади? 25. Ёлқинли разряд нурланишини тушунтириб беринг. 26. Ёлқинли разряднинг турлича нурланишига сабаб нима? 27. Ёлқинли разряднинг техникада қўлланилиши.

84- §. Плазма ҳақида тушунча

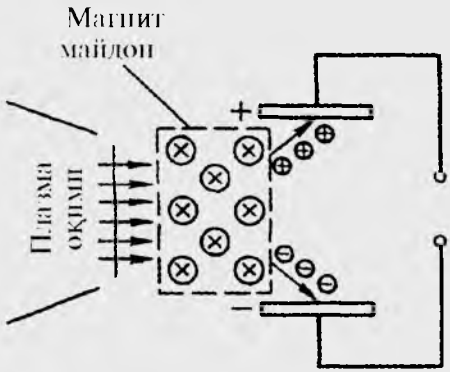
Мазмуни: плазма; плазманинг хоссалари; плазманинг қўлланилиши; плазма ва коинот.

Плазма. Бу тушунча нисбатан янги бўлиб, олдинги асрнинг йигирманчи йилларида ўрганила бошланди. *Плазма деб — электронларининг концентрацияси мусбат ионларининг концентрациясига тахминан тенг бўлган, кучли ионлашган газга айтилади.* Температура кўтарила борган сари плазмадаги электронлар ва ионлар сони ортиб боради ва нейтрал атомлар шунча кам қолади. Бундай плазма *электрон-ионли плазма* дейилади. Плазмадаги электронлар концентрацияси ионлар концентрациясига тенг бўлганлиги учун ҳам уни электронейтрал, ундаги ҳажмий заряд зичлиги эса нолга тенг деб ҳисоблаш мумкин.

Плазманинг хоссалари. Плазма — нейтрал газ хоссаларидан фарқ қиладиган бир қатор махсус хоссаларга эгалир. Бу хоссалар уни модданинг тўртинчи агрегат ҳолати деб қаранга асос бўлади. Нейтрал газ молекулалари орасидаги таъсирдан фарқли равишда плазмадаги зарраларнинг ўзаро таъсири кулон тортиниш ва итариш кучлари билан характерланади.

Плазма зарралари, айниқса электронлар электр майдон таъсирида енгил кўчади. Электр ва магнит майдонлар плазмага жуда кучли таъсир қилиб, ҳажмий зарядлар ва токларни вужудга келтиради.

Электр ўтказувчанлик хусусиятига кўра плазма металларга ўхшаб кетади, яъни яхши электр ўтказувчидир. Металлардан фарқли равишда эса температура ортиши билан плазманинг электр ўтказувчанлиги яхшилашади. Плазма яхши иссиқлик ўтказувчанликка ҳам эга. Бунинг натижасида плазма иссиқлик миқдорини осон йўқотади: электронлар ва ионлар идиш деворларига иссиқликни тез узатади.



140- расм.

Натижада плазманинг температураси пасаяди ва рекомбинация жараёни бошланади. Демак, плазмани мунтазам сақлаб туриш учун ёки унга ташқаридан доимо иссиқлик миқдори бериб туриш керак, ёки қурилма деворларидан ажратиш керак.

Агар плазма магнит майдонга жойлаштирилса, электронлар ва ионлар парма учларига ўхшаш траекториялар бўйлаб ҳаракат қила бошлайди. Бунда ҳам электрон бир йўналишда, ион бўлса, унга тескари йўналишда ҳаракатланади.

Агар куч чизиқлари плазмани ҳар томондан ўраб турадиган магнит майдон ҳосил қилинса, яъни у магнит тури вазифасини ўтай олса, плазмани иссиқлик узатишдан сақлаш масаласи ечилган бўларди. Аслида бу жуда мураккаб муаммо бўлиб, унинг ечилиши термоядро синтезини бошқариш муаммоси билан боғлиқдир.

Плазманинг қўлланилиши. Плазма кенг қўлланилиши мумкин бўлган соҳалардан бири инсониятни улкан миқдорлаги энергия билан таъминлаши мумкин бўлган термоядро синтезини бошқаришдир. 1969 йилда И.Курчатов номидаги атом энергияси институтида «Токамак» номли қурилма яратилди. Унда плазмадан фойдаланилиб, термоядро реакциясининг дастлабки белгилари олинди. Лекин ҳали бу соҳада кўплаб изланишлар олиб борилиши тақозо қилинади.

Плазмадан фойдаланишнинг яна бир истиқболли соҳаси магнитогидродинамик ўзгартиргич ясаш (қисқача МГД ўзгартиргич). Унинг вазифаси газнинг иссиқлик энергиясини бевосита электр энергияга айлантиришдир. МГД ўзгартиргичнинг иш принципи 140-расмда кўрсатилган. Юқори температурали плазма оқими кучли магнит майдонга йўналтирилади (расм текислигига перпендикуляр йўналтирилган). Магнит майдон эса плазмани иккита ташкил этувчи: мусбат ва манфий зарралар оқимига ажратади. Улар эса турли пластинкаларга ўтиб потенциаллар фарқини ҳосил қилади. Плазмадан лазер ҳосил қилишда, металларни кесишда ва пайвандлашда, қопламалар ҳосил қилишда фойдаланилади.

Плазма ва коинот. Барча юлдузлар, жумладан Қуёш ҳам, юлдузлар атмосфераси, галактикадаги туманликлар ва юлдузлараро му-

ҳитлар модданинг тўртинчи ҳолати — плазмадан иборатдир. Ер ҳам плазма қобиқ — ионосфера билан ўралган. Магнит буронлари ва қутб ёғдуси ҳам Ер атрофидаги плазмага боғлиқ. Радиотўлқинларнинг ионосфера плазмасидан қайтиши Ерда узоқ масофага радиоалоқа ўрнатишга имкон беради.

Плазма физикасини ўрганиш космосда рўй берадиган жараёнларни ўрганиш учун ҳам муҳим аҳамиятга эга. Чунки қуёш системасининг ҳамма жойида «плазма шамоллари» мавжуд бўлиб, баъзида улар шу қадар кучли бўладики, космонавтлар учун маълум хавф туғдирали.

Хулоса қилиб шуни айтиш мумкинки, плазма физикаси фанининг ютуқлари техникада жуда кенг қўлланилиши мумкин.

Синов саволлари

1. Плазма деб нимага айтилади? 2. Плазмани нимага асосан электронейтрал деб ҳисоблаш мумкин? 3. Плазмадаги ҳажмий заряд зичлиги нимага тенг? 4. Плазма қандай хоссалари билан нейтрал газдан фарқ қилади? 5. Электр ва магнит майдонлари плазмага таъсир кўрсатадими? 6. Плазма электр токини ўтказадими? 7. Температуранинг ортиши плазманинг электр ўтказувчанлигига қандай таъсир кўрсатади ва уни тушунтиринг. 8. Плазма иссиқлик ўтказадими? 9. Плазмани доимий сақлаб туриш учун нима қилиш керак? 10. Нима учун плазмада ўз-ўзидан рекомбинация жараёни бошланади? 11. Плазманинг термоядро синтезини бошқаришда қўлланилиши. 12. Магнитогидродинамик ўзгартиргич нима мақсадда ишлатилади? 13. Магнитогидродинамик ўзгартиргичнинг ишлаш принципи. 14. Плазма яна қаерларда ишлатилади? 15. Коинотда плазма ҳолати мавжудми? 16. Магнит буронлари ва қутб ёғдусининг плазмага алоқаси борми? 17. Ионосферада плазма мавжудми? 18. Ер ва узоқ масофаларга радиоалоқа ўрнатилишида плазма қандай аҳамиятга эга?

85- §. Электролитларда электр токи. Электролитик диссоциация. Электролиз

Мазмуни: электролитларда электр токи; электролитик диссоциация; диссоциацияланиш даражаси; электролиз.

Электролитларда электр токи. Дистилланган сув электр токини ўтказмайди. Агар унга озроқ туз қушилса, электр токини ўтказувчига айланади. Демак, баъзи моддаларнинг сувдаги эритмаси электр токини ўтказиш қобилиятига, яъни заряд ташувчи зарраларга эга бўлиб қолар экан. *Эритувчида эриганда ионларга ажраладиган моддалар электролитлар* дейилади. *Электролитларда заряд ташувчи зарралар ионлар бўлади.* Шунинг учун ҳам бундай ўтказувчанликка *ионли ўтказувчанлик* дейилади. Ионларнинг вужудга келишига сабаб, электролит эриганда унинг молекулалари эритувчи молекулаларининг

86- §. Электролиз учун Фарадей қонунлари

Мазмуни: Фарадейнинг биринчи қонуни; биринчи қонунининг физик маъноси; Фарадейнинг иккинчи қонуни; электрокимёвий эквивалент.

Фарадейнинг биринчи қонуни. 1833 йил М.Фарадей электролиз қонунларини яратди. *Фарадейнинг биринчи қонуни: электродда ажралиб чиқадиган модданинг массаси m электролитдан ўтган заряд миқдори Q га пропорционал:*

$$m = kQ \qquad (86.1)$$

ёки

$$m = kIt, \qquad (86.2)$$

бу ерда $I = \frac{Q}{t}$ — электролитдан t вактда оқиб ўтган ўзгармас ток кучи.

Биринчи қонуннинг физик маъноси. Биринчи қонунинг физик маъносини тушунин учун электролиз ва ионли ўтказин механизмини батафсилроқ ўрганамиз. Электролитдан қанча кўп заряд миқдори ўтса, шунча ионлар электродларга етиб келади. Мусбат ионлар катодга етиб келиб ўзига етмаган электронларни олади ва нейтрал атомга айланиб катодга ёпишиб қолади. Манфий ионлар эса анодга тегини билан ортиқча электронларини бериб, у ҳам анодга ёпишиб қолади. Электродларга ёпишадиган ҳар бир ион ўзи билан қанчадир электр зарядини олиб келади. Демак, барча ионлар ташийдиган гўла заряд электродларга ёпишиб қоладиган ионлар сонига, яъни ажраладиган модда массасига пропорционалдир.

Электрокимёвий эквивалент. (86.1) ифодадаги пропорционалик коэффициенти k модданинг *электрокимёвий эквиваленти* дейилади. У электролизда электродда ажралиб чиққан модда массасининг электролит орқали ўтган заряд миқдорига нисбатига тенгдир.

9-жадвал.

Баъзи моддаларнинг электрокимёвий эквиваленти

МОДДА	k, 10^{-6} кг/Кл
Кумуш	1,118
Водород	0,01045
Мис	0,3294
Рух	0,0388

Фарадейнинг иккинчи қонуни. Моддаларнинг электрокимёвий эквиваленти унинг атом (молекуляр) массаси A нинг валентлик n га нисбатига тўғри пропорционал:

$$k = \frac{1}{F}\frac{A}{n}. \qquad (86.3)$$

Атом (молекуляр) массанинг валентликка нисбатига *кимёвий эквивалент* дейилади.

(86.3) ифодалаги F Фарадей доимийси дейилади. Унинг физик маъносини аниқлаш учун (86.3) ни (86.1) ифодага қуямиз:

$$m = \frac{1}{F}\frac{A}{n}Q. \qquad (86.4)$$

(86.4) Фарадейнинг электролиз учун умумлашган қонуни дейилади.

Фарадей доимийси электролизда электродда ажралиб чиқадиган масса моддаларнинг кимёвий эквивалентига тенг бўлиши учун электролитдан ўтиши керак бўлган заряд миқдорини кўрсатади.

Фарадей сонининг қиймати тажрибада аниқланган ва $F = 9{,}648 \cdot 10^4$ Кл/моль.

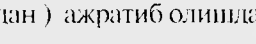
Синов саволлари

1. Фарадейнинг биринчи қонуни. 2. Биринчи қонунинг физик маъноси. 3. Мусбат ионлар қайси электродга қараб ҳаракатланади ва нима учун? 4. Манфий ионлар-чи? 5. Электродларда қандай жараён рўй беради? 6. Электрокимёвий эквивалент нимани кўрсатади? 7. Нима учун турли моддаларнинг электрокимёвий эквивалентлари турлича? 8. Фарадейнинг иккинчи қонуни. 9. Фарадейнинг электролиз учун умумлашган қонуни. 10. Фарадей доимийси қандай физик маънога эга? 11. Фарадей доимийси нимага тенг?

87- §. Электролизнинг техникада қўлланилиши

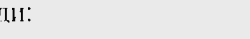
Мазмуни: соф моддаларни ажратиш; гальванотехника.

Соф моддаларни ажратиш. Электролиз ҳодисаси техникада ва саноатда кенг қўлланилади. Бу усул билан тоза моддалар: темир, марганец, хром, мис, рух, хлор, фтор ва бошқа моддалар ажратиб олинади. Масалан, тоза мисни мис сульфат эритмасидан (мис купоросидан) ажратиб олишдан олдин диссоциация рўй беради:



$$CuSO_4 \rightleftarrows Cu^{++} + SO_4$$

Сўнгра эса мис катионлари электр майдони таъсирида катодга томон ҳаракат қилади ва унда нейтраллашиб мис атомини ҳосил қилади:



$$Cu^{++} + 2e \rightarrow Cu$$

Гальванотехника. Металлдан ясалган деталлар ва асбобларни зангламайдиган қоплама билан қоплаш усули гальванотехника ҳам саноатда кенг қўлланилади. Тез оксидланадиган металлардан ясалган нар-

саларнинг сирти қийин оксидланадиган: никель, кумуш, рух ва бошқалар балан қопланади. Никелланган буюмлар: самовар, чойнак, ничоқ, қошиқ, санчқилар шу усул билан ҳосил қилинади.

Нарсаларнинг сиртини оксидланмайдиган металлар билан қоплаш гальваностегия дейилади. Бу усул энг арзон, қулай ва тез бажарилади-диган усулдир.

Масалан, никель билан қоплаш керак бўлган буюмни яхшилаб тозалаб, сўнгра электролитик ваннага туширилади. Ваннага никелнинг иккиламчи тузининг аммиакдаги эритмаси солинади. Анод сифатида никель парчаси олинса, буюм катод вазифасини ўтайди. Маълум вақт ток ўтказилиб, никель қатламининг керакли қалинлиги ҳосил қилинади.

Буюмларни кумуш ёки олтин билан қоплашда кумуш ва олтин тузларининг эритмаларидан фойдаланилади.

Бирор шаклни ҳосил қилиш учун буюм сиртига металлни электролитик чўктириш усули гальванопластика дейилади. Гальванопластика 1836 йилда рус физиги Б.Якоби томонидан кашф этилган бўлиб, тезда саноатда кенг қўлланила бошлади.

У турли барельефлар (нақш), ҳайкалчалар нусхасини тайёрлашда, кредит карточкалари ва бошқа қоғозларни чиқариш учун клише тайёрлашда фойдаланилади.

Синов саволлари

1. Электролиз ҳодисасининг қўлланилиши. 2. Тоза мисни қандай ажратиб олиш мумкин? 3. Гальванотехника деб нимага айтилади? 4. Гальванотехниканинг қўлланилишига мисоллар келтиринг. 5. Гальваностегия деб нимага айтилади? 6. Гальваностегия усулининг моҳияти. 7. Гальваностегияда буюм нима учун катод сифатида олинади? 8. Буюмларни кумуш ёки олтин билан қоплаш қандай амалга оширилади? 9. Гальванопластика деб нимага айтилади ва уни ким кашф этган? 10. Гальванопластиканинг қўлланилиши.

88- §. Кимёвий энергияни электр энергияга айлантириш

Мазмуни: гальваник элементлар; гальваник элементнинг тузилиши; электродларнинг қутбланиши ва уни йўқотиш; аккумуляторлар; аккумуляторнинг ф.и.к. ва ҳажми.

Гальваник элементлар. Агар эритмага металл электрод туширилса, унда электроднинг манфий ионлари металл сиртига келиб кристалл панжарадаги мусбат ионларни суғуриб олади. Шу билан бирга тескари жараён, металл ионларининг электродда ёпишиши ҳам рўй беради. Агар электролитнинг катионлари электрод металининг иони бўлса жуда ҳам яхши бўлади. Мисол учун $CuSO_4$ эритмасига мис электрод бўлган ҳол.

Металл ионларининг эритмага ўтиши натижасида, металл — манфий, эритма эса мусбат зарядланиб қолади, яъни эритмадан металлга йўналган электр майдони вужудга келади ва у металлнинг яна эритмага тўсқинлик қилади. Борди-ю дастлаб тескари жараён — эритма ионларининг электродда ёпишиб қолиши жадалроқ рўй берса, унда электрод мусбат зарядланиб қолади.

Ҳар иккала ҳолда ҳам, металл ва эритма орасида пайдо бўлган потенциаллар фарқи электроднинг емирилиш ва кристалланиш тезлигини тенглаштириб туради. Бу потенциаллар фарқи мазкур металлнинг мазкур эритмадаги электролитик потенциали дейилади.

Агар эритмага турли металлардан ясалган иккита электрод ботирилса, уларнинг электролитик потенциаллари фарқига тенг бўлган потенциаллар фарқи вужудга келади. Шундай қилиб, металл ва электролитларнинг кимёвий таъсир энергияси электр майдон энергиясига айланади.

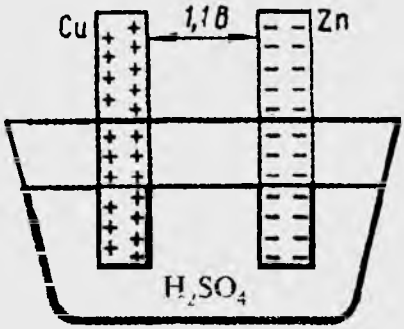
Кимёвий реакция энергиясини бевосита электр энергияга айлантириб берадиган қурилма гальваник элементлар дейилади.

Гальваник элементнинг тузилиши. Гальваник элементнинг тузилишига ёпиқ занжирда электр токини вужудга келтирадиган металл ва электролит ўртасидаги ўзаро таъсир асос қилиб олинган. Бу ҳодиса XVIII аср охирида италиялик олим Л.Гальвани (1737 — 1798) томонидан очилганлиги сабабли, янги ток манбалари унинг шарафига гальваник элементлар деб аталган. Гальваник элементлар бирор электролитга тушириллган иккита турли материаллардан ясалган электродлардан иборат бўлади.

Италиялик физик А.Вольта (1745 — 1827) мис ва рух пластинкаларни сульфат кислота эритмасига тушириб биринчи гальваник элементни ясаган. Вольта элементининг ЭЮК 1,1В бўлган. Вольта элементи ишлаганда унинг мусбат қутбларида водород ажралади, манфийида эса рухнинг эриши рўй беради (142 расм).

Амалда, электродлари ва электролити билан Вольта элементидан фарқ қиладиган бошқа элементлардан кўпроқ фойдаланилади. Масалан, 1,09 В ЭЮК Даниэл элементида мусбат электрод мис купоросига ботирилган мис, манфий электрод эса рух купороси ёки сульфат кислотага ботирилган рух.

Гальваник элементларнинг кўпчилигида узоқ фойдаланилганда ЭЮК камаяди ва ток беролмай қолади. Бунга сабаб электродларнинг қутбланишидир.



142- расм.

Электродларнинг қутбланиши ва уни йўқотиш. Вольта элементининг иш принципида катта камчилик мавжуд. Мис электродда ажралаётган водородлар маълум вақтдан сўнг электродни ўраб олади ва водороднинг янги ионлари келишига тўсқинлик қилади. Натижада электродларнинг электролитик потенциали, ва демак, уларнинг фарқи ҳам ўзгаради. Бу ҳодисага электролитларнинг қутбланиши дейилади. Электродларнинг қутбланиши элементда гўёки қарама-қарши ЭЮК вужудга келтиради ва ундаги токни камайтиради. Элементнинг қутбланишини йўқотиш учун ажраладиган газ билан бирикувчи, оксидловчи модда киритилади. Бундай оксидловчиларга қутблашни йўқотувчилар, қутбларни йўқотувчи элементларга эса қутбланмайдиганлар дейилади ва улар анча узоқ вақт ишлайди. Қутбланмайдиган гальваник элементларнинг жуда кўп турлари мавжуд бўлсада уларнинг иш принципи бир хил. Уларнинг энг кўп тарқалганларидан бири Лекланше элементи бўлиб, ЭЮК 1,5 В ни ташкил қилади.

Аккумуляторлар. Гальваник элементлар унда мавжуд бўлган кимёвий энергия тўла сарфлангунча (масалан, Лекланше элементида рух эригунча) ишлаши мумкин. Сўнгра эса фаолиятини тўхтатади. Шунинг учун ҳам баъзида уларнинг фаолияти учун зарур бўлган кимёвий энергияни электролиз натижасида тиклаши мумкин бўлган гальваник элементлардан фойдаланилади.

Бундай элементларга аккумуляторлар, уларда электролиз ёрдамида энергияни тўплаш жараёнига эса аккумуляторларни зарядлаш (энергияни тўплаш) дейилади.

Аккумуляторларни зарядлашда ташқи манбанинг токи у берадиган токка қарама-қарши йўналишда ўтказилади.

Техникада икки хил: кислотали ва ишқорли аккумуляторлардан фойдаланилади. Кислотали аккумуляторлар сульфат кислота эритмасига туширилган қўрғошин пластинкалардан ташкил топган. Манфий пластинка тоза қўрғошиндан сирти юмшоқ қилиб, мусбат пластинка эса қўрғошин икки оксиди билан қопланган бўлади. Аккумулятор разрядланганда ҳар иккала пластинка ҳам аста-секин олтингугурт кислотали қўрғошин билан қоплана бошлайди. Аккумулятор зарядланганда эса мусбат ва манфий пластинкалар орасидаги фарқ тикланади. Кислотали аккумуляторларнинг ЭЮК 2 В атрофида бўлади.

Ишқорли аккумуляторлар чўнтакчалари бор никелли темир пластинкалардан ташкил топган. Мусбат пластинканинг чўнтагига никель оксиди, манфий пластинканинг чўнтагига эса темир оксиди солинади. Электролит вазифасини калий ишқори ўтайди. Ишқорли аккумуляторнинг ЭЮК 1,4 В ни ташкил қилади. Ишқорли аккумуляторлар кислоталиларникига нисбатан қулай ва енгил, зарарли буғ ва газлар чиқармайди, қисқа пайтдаги қисқа туташувда бузилмайди.

Аккумуляторнинг ФИК ва ҳажми. *Аккумуляторнинг ФИК деб зарядланиш пайтида олган энергиясининг қанча қисмини разрядланишда қайтаришини кўрсатадиган катталикка айтилади.*

Кислотали аккумуляторнинг ФИК 80%, ишқорлисиники 60% атрофида бўлади. Ҳар бир аккумулятор ўз сиғими билан характерланади. Аккумуляторнинг сиғими зарядланган аккумулятор разрядланишда берадиган заряд миқдори билан ўлчанади. У кулонларда эмас, махсус бирлик ампер-соатларда ўлчанади.

Ампер-соат — 1 А токнинг 1 соат давомида олиб келадиган заряд миқдоридир: 1 А · соат = 3600 Кл.

Аккумулятор автомобилларнинг, самолётларнинг, сувости кемаларининг, поезд ёриткичларининг ажралмас қисмидир.

Гальваник элементлар эса радиопрёмникларда ва телевизорларда, телефон ва телеграф қурилмаларида кенг ишлатилади.

Шу билан бирга улар атмосферани углерод оксиди, азот оксиди, углеводородлар ва бошқа аралашмалар билан заҳарлайди. Шунинг учун ҳам ҳозир қуёш энергиясидан фойдаланувчи электромобилларни ишлаб чиқаришга катта эътибор қаратилмоқда.

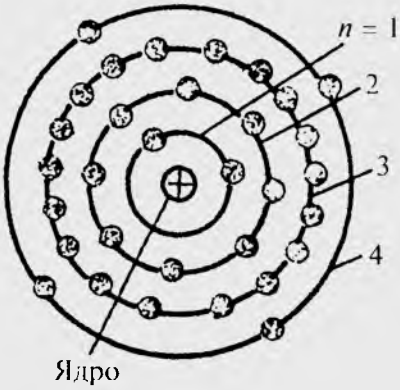
Синов саволлари

1. Электролитик потенциал деб қандай потенциалга айтилади? 2. Гальваник элеметлар деб қандай қурилмага айтилади? 3. Гальваник элементларнинг тузилиши. 4. Гальваник элементни ким кашф этган? 5. Вольта элементининг тузилиши ва ЭЮК. 6. Даниэл элементининг тузилиши ва ЭЮК. 7. Нима учун гальваник элементларнинг ЭЮК камаяди? 8. Электродларнинг қутбланиши деб нимага айтилади? 9. Электродларнинг қутбланиши қандай оқибатларга олиб келади? 10. Электродларнинг қутбланишини йўқотиш учун нима қилинади? 11. Лекланше элементи қутбланадими? Унинг ЭЮК нимага тенг? 12. Гальваник элементлар қанча вақт хизмат қилади? 13. Аккумуляторлар деб қандай элементларга айтилади? 14. Аккумуляторни зарядлаш деб қандай жараёнга айтилади? 15. Аккумуляторни зарядлашда ташқи манбанинг токи қандай уланади? 16. Аккумуляторнинг қандай турлари мавжуд? 17. Кислотали аккумуляторларнинг тузилиши; иш принципи ва ЭЮК. 18. Ишқорли акумуляторларнинг тузилиши, иш принципи ва ЭЮК. 19. Ишқорли аккумуляторларнинг афзаллик томонлари. 20. Аккумуляторларнинг ФИК қандай аниқланади? 21. Аккумуляторларнинг ФИК нимага тенг? 22. Аккумуляторнинг сиғими нимани кўрсатади? 23. Бир ампер-соат неча кулонга тенг? 24. Гальваник элементлар қаерда ишлатилади? Мисоллар келтиринг.25. Гальваник элементларнинг зарарли томонлари.

89- §. Ярим ўтказгичларнинг тузилиши

Мазмуни: атомнинг тузилиши; ярим ўтказгичларнинг тузилиши.

Атомнинг тузилиши. Электр ўтказувчанлик қобилиятига қараб, қаттиқ жисмлар ўтказувчиларга, ярим ўтказувчиларга ва изолятор-



143- расм.

ларга бўлинади. Улар бир-биридан фарқ қилишига сабаб атом электрон қобиқларининг турличалигидир.

Маълумки, исталган элементнинг атоми мусбат зарядланган ядро ва ядро атрофида ҳаракатланадиган электронлардан ташкил топган. Ядро мусбат зарядланган протон ва электронейтрал нейтронлардан иборат. Ядро заряди Z ундаги протонлар сони билан аниқланади ва шу элементнинг Менделеев даврий системасидаги тартиб номери билан мос келади. Атом ядроси атрофида ёпиқ орбиталар бўйлаб ҳаракатланадиган электронлар сони ҳам Z га тенг ва шунинг учун ҳам атом электронейтрал. Атомлаги электронлар маълум $n = 1$, $n = 2$, $n = 3$ орбиталар (қобиқлар) бўйлаб жойлашади. Ҳар бир орбитала $2n^2$ та электрон жойлашиши мумкин ва уларнинг энергиялари ҳам бир хил. Ҳар бир қобиқдаги электронларнинг энергиялари мос равишда E_1, E_2, E_3,...деб белгиланади.

Орбиталар орасида ман қилинган энергетик сатҳ ΔE мавжуд бўлиб, унинг кенглиги электрон орбиталарда эга бўлиши мумкин бўлган энергиялар фарқи билан аниқланади:

$$\Delta E = E_2 - E_1.$$

Ярим ўтказгичларнинг тузилиши. Мисол учун ярим ўтказгичнинг типик вакили бўлган германийни қарайлик. Унинг тартиб номери 32 ва тўртта электрон кобиғи мавжуд: 1-қобиқда 2 та; 2-қобиқда 8та, 3-қобиқда 18 та,4- қобиқда эса 4 та электрон жойлашган (143-расм).Учта ички қобиқдаги электронлар турғун бўлиб, кимёвий реакцияларда иштирок этмайди. Охирги тўртинчи қобиқдаги электронлар эса атом ядроси билан жуда кучсиз боғланган.

Айнан шу электронлар элементнинг бошқа атомларининг нечтаси билан кимёвий боғланишга кира олиш қобилиятини кўрсатиб, мазкур элементнинг валентлиғини аниқлайди. Шунинг учун ҳам охирги қобиқдаги электронларга ташқи ёки валентли электронлар дейилади. Ташқи қобигида тўртта электрони мавжуд бўлган германийнинг валентлиги тўртга тенг. Мазкур атомга бошқа атомлар яқинлашганида валент электронлар бошқа атомнинг валент электронлари билан осон таъсирлашади ва кимёвий боғланиш ҳосил қилади.

Атом қобиғига маълум энергия берилганда атомниг ионлашуви рўй бериши мумкин. Айнан сўнгги қобиқдаги электронни озод қилиш учун энг кам энергия тақозо қилинади.

Германий, кремний ва ярим ўтказгичларнинг бошқа бир қанча вакиллари кристалл моддалар хисобланади. Уларнинг атомлари маълум қонуниятларга мувофиқ жойланган бўлади.

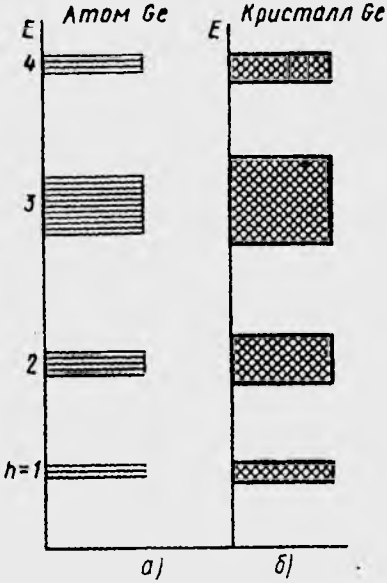
Синов саволлари

1. Ўтказгичлар, ярим ўтказгичлар ва изоляторларнинг бир-биридан фарқ қилишнинга сабаб нима? 2. Атом қандай тузилган? 3. Атом ядроси-чи? 4. Ядродаги протонлар сони нимани кўрсатади? 5. Атомдаги электронлар сони-чи? 6. Атомдаги электронлар орбиталар бўйлаб қандай тақсимланган? 7. Ҳар бир қобиқдаги электронларнинг энергиялари қандай бўлади? 8. Ман қилинган энергетик сатҳ нимани кўрсатади? 9. Ярим ўтказгичлар қандай тузилган? 10. Элементнинг валентлиги қандай аниқланади?

90- §. Энергетик сатҳлар ва энергетик зоналар

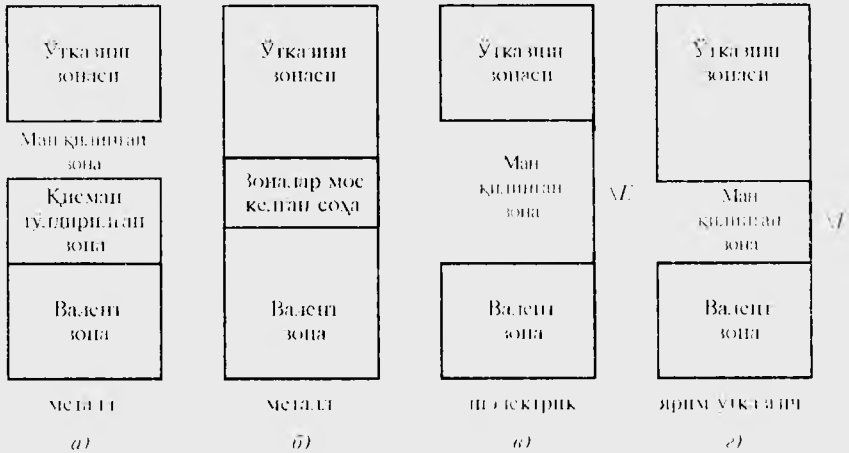
Мазмуни: энергетик сатҳлар; энергетик зоналар; ўтказгичлар, ярим ўтказгичлар, изоляторлар.

Энергетик сатҳлар. Квант механикаси қонунларига мувофиқ атомдаги ҳар бир электрон маълум бир энергияга эга бўлиши, яъни рухсат этилган маълум энергетик сатҳдагина туриши мумкин. Электрон бошқа энергетик сатҳларда бўлиши мумкин эмас, чунки бу сатҳ улар учун ман қилинган дейилади. 144- *а* расмда германий атоми электронларининг энергетик сатҳлари кўрсатилган. Бирдан-ю, бирор атомга иккинчисини 1 нм дан кичикроқ масофага яқинлаштирсак, энергетик сатҳлар ўзгариб кетиши мумкин. Кристалл ҳосил бўлишида энергетик сатҳларнинг кескин ўзгариши рўй бериб, алоҳида атомларнинг сатҳлари анча сурилади.



144- расм.

Энергетик зоналар. Кристаллда кўп миқдорда энергетик сатҳлар мавжудлиги ва ораларидаги фарқ кичиклиги сабабли улар қўшилишиб, анча кенг энергетик зоналарни ҳосил қилишади. Бу рухсат этилган зоналарни бир-бирларидан ман қилинган зоналар ажратиб туради (144- *б* расм). Сатҳларнинг ёйилиши атом электронларининг барчасига хос бўлган хусусиятдир. Лекин ёйилиш қиймати ҳамма сатҳ учун ҳар хил. Масалан, ички электронлар учун жуда кам бўлса, кейингилари учун



145- расм.

катталаша боради. Зоналар тузилишини асосан валент электронларнинг ёйилган сатҳлари аниқлайди.

Энергетик зонанинг кенглиги кристаллнинг ўлчамларига боғлиқ бўлмай, кристаллнинг тузилишига, яъни уни ҳосил қилувчи атомларнинг табиатига боғлиқдир.

Юқорида қайд этилганидек, германийнинг энг ташқи қобиғидаги электронлар энг ионлаштирувчи энергияга эга бўлади. Айнан шу электронлар тоза германийнинг электр ўтказувчанлигини аниқлайди. Ташқи валент электронларнинг энергетик сатҳлари валент ёки тўлдирилган зонани ташкил қилади. Бу зонадаги бирор электронни эркин қилиш учун маълум энергия сарфлаш керак. Демак, эркин ҳолатдаги электронлар янада юқорироқ энергетик сатҳни эгаллар экан. Валент зонадан юқорироқда жойлашган ва ундан ман қилинган зона билан ажратилган бўш ёки электронлар билан қисман тўлдирилган юқори энергетик сатҳлар ўтказиш зонаси дейилади.

Ўтказгичлар, ярим ўтказгичлар, изоляторлар. Электронни валент зонадан ўтказиш зонасига ўтказиш учун ташқаридан маълум энергия бериш керак. Электрон турғун ҳолатдан (тўлдирилган ҳолатдан) эркин ҳолатга (ўтказиш зонасига) ўтишда енгиш керак бўлган ман қилинган зонанинг кенглиги қаттиқ жисмларни металлар, ярим ўтказгичлар ва изоляторларга ажратишнинг асосий мезонларидан биридир. Бунга 145-расмда келтирилган схемалардан осонгина ишонч ҳосил қилиш мумкин.

Зоналарнинг электронлар билан тўлдирилганлиги ва ман қилинган зонанинг кенглигига қараб тўртта ҳол бўлиши мумкин.

145- *а* расм — энг юқори зона электронлар билан қисман тўлдирилган, яъни унда бўш сатҳлар мавжуд. Бу ҳолда электрон жуда кам энергия олганда ҳам шу зонанинг юқорироқ энергетик сатҳига ўти-

ши, яъни эркин бўлиб, ток ўтказишда иштирок этиши мумкин. Демак, қаттиқ жисмда қисман тўлдирилган зона мавжуд бўлса, бу жисм электр токини ўтказади. Айнан шу хусусият металларга хосдир.

145- *б* расм — агар валент зона ва ўтказиш (эркин) зонаси билан қисман устма-уст тушса ҳам, қаттиқ жисм электр токини ўтказувчи бўлади. Бу Менделеев элементлар даврий системасидаги II гуруҳ элементлари Be, Mg, Ca, Zn ....ларга хос хусусиятдир.

Энергетик сатҳлари фақат валент зона ва ўтказиш зонасидан иборат қаттиқ жисмлар, ман қилинган зонасининг кенглигига қараб диэлектриклар ва ярим ўтказгичларга ажратилади.

Агар кристаллнинг ман қилинган зонасининг кенглиги бир неча электрон-вольт бўлса, иссиқлик ҳаракати электронни валент зонадан ўтказиш зонасига сакрата олмайди ва бундай кристалларга диэлектриклар дейилади (145- *в* расм).

Агар ман қилинган зона унча катта бўлмаса ($\Delta E \approx 1$ эВ), электронни валент зонадан ўтказиш зонасига иссиқлик ёки бирор бошқа таъсир билан кўчириш мумкин. Бундай кристалларга ярим ўтказгичлар дейилади (145- *г* расм). Масалан, германий учун $\Delta E = 0{,}72$ эВ кремний учун $\Delta E = 1{,}11$ эВ ни ташкил қилади.

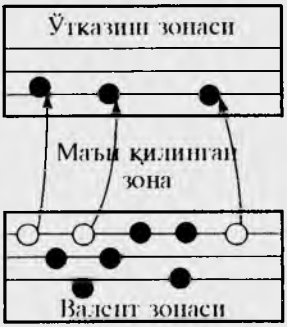
Шундай қилиб, ўтказгичлар учун ман қилинган зонанинг кенглиги нолга тенг, ярим ўтказгичлар учун 2эВ дан ошмайди, диэлектриклар учун эса 2 эВ дан катта бўлади.

Синов саволлари

1. Энергетик сатҳ деб нимага айтилади? 2. Электрон исталган энергетик сатҳда бўла оладими? 3. Кристалл ҳосил бўлишида энергетик сатҳлар ўзгарадими? 4. Энергетик зоналар қандай ҳосил бўлади? 5. Ман қилинган зона қандай зона ва у қаерда жойлашади? 6. Энергетик зонанинг кенглиги нимага боғлиқ? 7. Ташқи валент электронларнинг энергетик сатҳлари нимани ташкил қилади? 8. Ўтказиш зонаси деб қандай зонага айтилади? 9. Металлар, ярим ўтказгичлар ва изоляторлар нимаси билан фарқланади? 10. Ман қилинган зонанинг кенглигига қараб моддалар нечта турга бўлинади? 11. Металларнинг энергетик сатҳлари. 12. Элементлар даврий системаси иккинчи группа элементлари қандай валент тузилишга эга? 13. Ярим ўтказгичлар ва диэлектрикларнинг зоналар тузилиши қандай бўлади? 14. Ярим ўтказгичда ман қилинган зонанинг кенглиги нимага тенг? 15. Диэлектрикларда-чи?

91- §. Ярим ўтказгичларнинг ўтказувчанлиги ва унинг температурага, ёритилганликка боғлиқлиги

Мазмуни: хусусий ўтказувчанлик; *n*- ва *p*- тип ўтказувчанликлар; аралашмали ўтказувчанлик; донор аралашма; акцептор аралашма; ярим ўтказгичлар ўтказувчанлигининг температурага ва ёритилганликка боғлиқлиги.



146- расм.

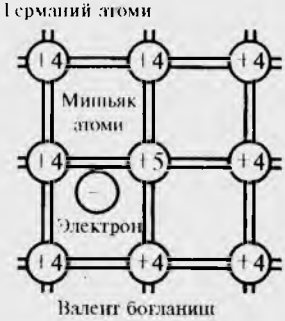
Хусусий ўтказувчанлик. Юқорида қайд этилганидек, ярим ўтказувчиларнинг электр ўтказувчанлиги металларнинг электр ўтказувчанлигидан ёмон, диэлектрикларникидан эса яхшироқдир. Табиатда ярим ўтказгич элементлар ва ярим ўтказгич кимёвий бирикмалар мавжуддир. Шунинг учун ҳам уларни хусусий ва аралашмали ярим ўтказгичларга ажратишади. Кимёвий тоза ярим ўтказгичларга хусусий ярим ўтказгичлар, ўтказувчанлигига эса хусусий ўтказувчанлик дейилади.Уларга германий —Ge, селен —Se ва баъзи кимёвий бирикмалар киради.

ОК да бошқа ташқи сабаблар бўлмаганда хусусий ярим ўтказгичлар ўзларини диэлектриклардек тутишади.

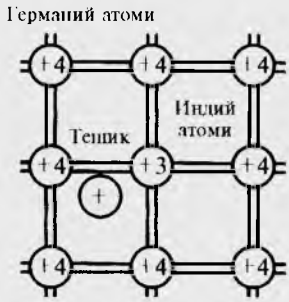
***n*-тип ўтказувчанлик.** Температура ортиши билан валент зонасининг юқори сатҳидаги электронлар ўтказиш зонасининг қуйи сатҳларига сакраб ўтади (146-расм). Кристаллга электр майдони қўйилганда эса улар майдонга қарши ҳаракатга келиб электр токи ҳосил қилди. Хусусий ярим ўтказгичларнинг электрон билан боғлиқ ўтказувчанлиги электрон ўтказувчанлик ёки (юнонча negate ve — манфий сўзига асосан) *n* - тип ўтказувчанлик дейилади.

***p*-тип ўтказувчанлик.** Электронлар сакраб ўтказиш зонасига ўтиб кетгандан сўнг, валент зонада бўш ўринлари қолиб, уларга тешиклар дейилади. Ташқи электр майдони таъсирида электроннинг бўш ўрни — тешикни қўшни сатҳдаги бошқа электрон эгаллаши мумкин. Бунда тешик ҳам кўчган электроннинг ўрнига ўтади. Бу жараён давом этса гўёки тешик электронлар ҳаракати йўналишига тескари йўналишда кўчиб юргандек бўлади. Яъни гўёки заряди электрон зарядига тенг, ишораси мусбат бўлган заряднинг кўчиши рўй беради. Хусусий ярим ўтказгичларнинг квазизарралар — тешиклар ҳаракати билан боғлиқ ўтказувчанлиги тешикли ўтказувчанлик ёки (юнонча positive — мусбат сўзига асосан) *p*-тип ўтказувчанлик дейилади.

Кимёвий тоза ярим ўтказгичларда ўтказиш зонасига ўтган электронлар сони валент зонасида ҳосил бўлган тешиклар сонига тенг бўлади ва уларнинг ҳар иккаласи ҳам электр токи ҳосил қилишда иштирок этади. Шу билан бирга электронларнинг ҳаракатчанлиги тешикларникига нисбатан катта бўлганлиги учун тешикли ток умумий токнинг ярмига тенг бўлолмайди. Шундай бўлса-да, ярим ўтказгичларнинг солиштирма ўтказувчанлиги электронли ва тешикли ўтказувчанликларнинг йигиндисидан иборат бўлади. Заряд ташувчилар, яъни электронлар ва тешиклар хусусий заряд ташувчилар бўлганлиги учун ҳам улар вужудга келтирадиган ўтказувчанликка хусусий ўтказувчанлик дейилади.



147- расм.



148- расм.

Аралашмали ўтказувчанлик. Юқорида таъкидланганидек, ярим ўтказгичларнинг ўтказувчанлиги электронларнинг ва тешикларнинг концентрацияси ва уларнинг ҳаракатчанлигига боғлиқ. Шунинг учун ҳам турли усуллар билан ярим ўтказгичлардаги заряд ташувчилар сонини кўпайтиришга ҳаракат қилинади. Бундай усуллардан бири аралашмалар киритишдир. Ярим ўтказгичларнинг кўпчилигига аралашмалар киритилиб, уларнинг электр ўтказувчанлиги яхшиланади. Аралашмалар икки хил: донор ва акцептор бўлиши мумкин.

Донор аралашма. Агар тўрт валентли германийнинг кристалл панжарасига бешта валент электронли мишъяк, сурьма ва шунга ўхшаш моддаларнинг атомлари аралашма сифатида киритилса, ярим ўтказгичдаги электронларнинг концентрацияси кескин ортади. Бунга сабаб аралашма атом электронларининг тўртгаси германий атоми билан кимёвий боғланиш ҳосил қилишда қатнашиб, бешинчисининг бўш қолишидир. Натижада унинг ўз атоми билан боғланиши жуда кучсиз бўлиб, уни осонгина тарк этиши ва «эркин» электронга айланиши мумкин (147 расм). Шундай қилиб, бу ҳолда аралашма атомлар ўз электронларини беради, яъни электронлар донори бўлади ва шунинг учун ҳам донор аралашма дейилади. Донор аралашмада электр ўтказувчанлик эркин электронлар ҳаракатининг натижаси бўлганлиги сабабли унга электронли ёки *n*-тип ўтказувчанлик дейилади.

Акцептор аралашма. Агар германийнинг кристалл панжарасига учта валент электронли индий, галлий ва шунга ўхшаш моддаларнинг атомлари аралашма сифатида киритилса, ярим ўтказгич ўтказувчанлигининг характери ўзгаради. Бунга сабаб германийнинг атоми билан жуфт электрон боғланиш ҳосил қилиш учун индий атомида битта электрон етишмайди. Бошқача айтганда бу икки атом орасида тўлдирилмаган валент боғланиш, яъни тешик вужудга келади ва шунинг учун ҳам аралашмага акцептор аралашма дейилади (148-расм). Кристаллдаги тешиклар сони аралашма атомлар сонига тенг бўлади. Акцептор аралашмада электр ўтказувчанлик тешиклар ҳаракатининг натижаси бўлганлиги сабабли унга тешикли ёки *p*-тип ўтказувчанлик дейилади.

Ярим ўтказгичлар ўтказувчанлигининг температурага боғлиқлиги. Бизга маълумки, температура ортиши билан металларнинг электр ўтказувчанлиги ёмонлашади ва бунга сабаб молекулалар билан кўпроқ тўқнашиши натижасида электронлар ҳаракатчанлигининг ёмонлашишидир.

Гарчи ярим ўтказгичларда ҳам температура ортиши билан худди металлардагидек сабабларга кўра, электронларнинг ва тешикларнинг ҳаракатчанлиги ёмонлашса-да, у муҳим роль ўйнолмайди. Чунки ярим ўтказгичлар қизиши билан валент электронларнинг кинетик энергияси ортади ва улар ман қилинган зонадан ўта олиш қобилиятига эга бўлиб қолишади. Натижада эркин электронларнинг сони ортиб, ярим ўтказгичнинг электр ўтказувчанлиги яхшиланади.

Шу билан бирга паст температураларда металлар ва ярим ўтказгичлар орасидаги фарқ ортади, чунки ярим ўтказгичларнинг ўтказувчанлиги ёмонлашади. Демак, паст температураларда ярим ўтказгичлар диэлектрикларга ўхшаб кетиб, улар орасидаги фарқ камаяди.

Ярим ўтказгичлар ўтказувчанлигининг ёритилганликка боғлиқлиги. Ярим ўтказгичлар ёритилганда электр ўтказувчанлиги яхшиланади. Бунга сабаб ёруғлик таъсирида қўшимча заряд ташувчиларнинг пайдо бўлишидир. Улар қуйидаги жараёнлар натижасида вужудга келиши мумкин:

1) етарли даражада катта энергияга эга бўлган ёруглик валент зонадаги электронни ўтказиш зонасига ўтказиб қўяди. Натижада эркин электронлар ва тешиклар сони ортади, яъни ярим ўтказгичнинг хусусий ўтказувчанлиги яхшиланади;

2) ёруғлик донор аралашмага тушиб, ундаги электронни ўтказиш зонасига ўтказади ва эркин электронлар сони ортади;

3) ёруғлик валент зонадаги электронни акцептор аралашмага чиқаради ва валент зонада қўшимча тешиклар пайдо бўлади.

Синов саволлари

1. Хусусий ярим ўтказгичлар деб қандай ярим ўтказгичларга айтилади? Мисоллар келтиринг. 2. Хусусий ўтказувчанлик деб қандай ўтказувчанликка айтилади? 3. ОК да хусусий ярим ўтказгичлар ўзларини қандай тутадилар? 4. *n*-тип ўтказувчанлик деб қандай ўтказувчанликка айтилади? 5. *n*-тип ўтказувчанлик қандай вужудга келади? 6. *p*-тип ўтказувчанлик деб қандай ўтказувчанликка айтилади? 7. *p*-тип ўтказувчанлик қандай вужудга келади? 8. Хусусий ўтказувчанлик деб қандай ўтказувчанликка айтилади? 9. Аралашмалар ярим ўтказгичга нима мақсадда киритилади? 10. Аралашмалар неча хил бўлиши мумкин? 11. Донор аралашма деб қандай аралашмага айтилади? 12. Донор аралашма қандай ўтказувчанликни вужудга келтиради? 13. Акцептор аралашма деб қандай аралашмага айтилади? 14. Акцептор аралашма қандай ўтказувчанликни вужудга келтиради? 15. Температура ортиши билан ярим ўтказгичнинг ўтказувчанлиги қандай ўзгаради? 16. Температура ортиши билан ярим ўтказгич ўтказувчанлигининг яхшиланиш

механизмини тушунтириб беринг. 17. Температура насайиши билан ўтказувчанликнинг ёмонлашувини тушунтиринг. 18. Ярим ўтказгичларнинг ўтказувчанлиги ёруғлик таъсирида ўзгарадими? 19. Ёруғлик хусусий ярим ўтказгичларга қандай таъсир кўрсатади? 20. Ёруғлик аралашмали ярим ўтказгичларга қандай таъсир кўрсатади?

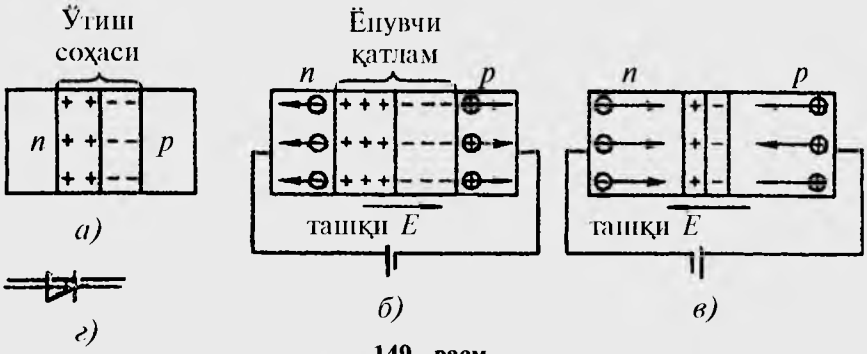
92- §. Ярим ўтказгичли асбоблар

Мазмуни: диод ва триод; ярим ўтказгичли асбобларнинг аҳамияти.

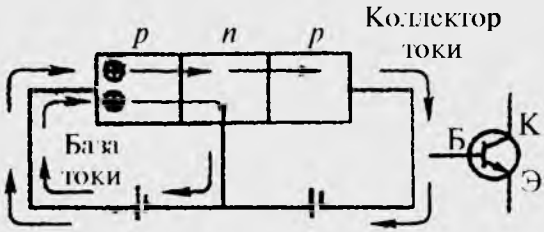
Диод. Иккита ярим ўтказгич контактининг бир томонлама ўтказиш хусусиятига эга эканлиги уларни ўзгарувчан токни тўғрилаш учун ишлатилишига имкон беради. Битта *p-n* ўтиш мавжуд бўлган ярим ўтказгичли асбоб ярим ўтказгичли диод дейилади. Диоднинг иш принципини тушуниш учун *p-n* контактни ўрганайлик (149- *а* расм). *p*- ва *n*- тип ўтказувчанликли ярим ўтказгичлар бир-бирларига тегдирилса, электронлари кўп бўлган *n*- соҳадан *p*- соҳага электронларнинг, тешиклар кўп бўлган *p*-соҳадан *n*-соҳага тешикларнинг ўтиши (диффузияси) рўй беради. Натижада улар ўртасида контакт потенциаллар фарқи вужудга келади. Электронлар ва тешиклар ярим ўтказгичлар чегарасида диффузия яна давом этишига тўсқинлик қилувчи ёпувчи потенциални вужудга келтиради. Энди қурилган системага ташқи майдон қўямиз, яъни 149- *б* расмда кўрсатилгандек ток манбаини улаймиз.Ташқи майдоннинг кучланганлиги ёпувчи қатлам майдонининг йўналиши билан мос келсин. Натижада электронлар майдонга қарши, тешиклар эса майдон бўйлаб ҳаракат қилиб чегара сиртдан узоқлашишади. Ёпувчи қатлам кенгайиб, унинг кенглиги қўйилган потенциаллар фарқига боғлиқ бўлади. Ёпувчи қатламда электронлар ва тешиклар сони кам бўлгани учун у ўзини диэлектрикдек тутади ва натижада *p-n* ўтиш орқали ток ўтмайди.

Ташқи майдоннинг ёпувчи қатламни кенгайтирадиган йўналишига ёпувчи ёки тескари йўналиш дейилади.

Энди токнинг йўналишини 149-*в* расмдагидек қилиб ўзгартирамиз. Электронларнинг ва тешикларнинг ҳаракат йўналиши ўзгаради. *p-n* ўтиш жойида улар рекомбинацияланади, яъни бир-бирларини нейтраллашади ва натижада ёпувчи қатлам юпқалашиб унинг қаршилиги камаяди. Демак, бу йўналишда, яъни *p*-ярим ўтказгичдан *n*-ярим ўтказгич томонга ток ўтади. Шунинг учун ҳам бу йўналишга ўтказувчи ёки тўғри йўналиш дейилади. Шундай қилиб, *p-n* ўтиш бир томонлама ўтказувчанликка эга бўлиб, бундай ярим ўтказгичли диод тўғрилагичлар сифатида ишлатилади ва унинг шартли белгиси 149- *г* расмда кўрсатилган. Ярим ўтказгичли диодлар лампали диодларга нисбатан қулай, ишончли ва ҳажми кичкина бўлганлиги учун уларни радиотехникадан тўла сиқиб чиқарди. Ярим ўтказгичли ди-



149- расм.



150- расм.

одлар нафақат тўғрилагич ва балки детектор (қайд этгич) сифатида ҳам ишлатилиши мумкин.

Транзистор. Триод. Ярим ўтказгичли триод — транзисторни ясаш учун аралашмали ярим ўтказгич материалининг учта таркибий қисми (шунинг учун ҳам триод дейилади) бўлиши керак: иккита *n*-ва битта *p*-тип ёки тескариси. 150- *а* расмда *p-n-p* тип транзистор кўрсатилган. Транзистор занжирга уланганда иккита батареядан фойдаланилади. Улардан бирининг мусбат қутби транзисторнинг эмиттери (э) дейилгувчи *p*-қисмига, манфий қутби эса база (б) дейилувчи ўртадаги *n*-қисмига уланади. Иккинчи батареянинг мусбати базага, манфий қутби эса коллектор (к) дейилувчи иккинчи *p*- қисмга уланади. Шундай уланишда эмиттердаги тешиклар базага кетиб, уларнинг кейинги, базадан коллекторга томон ҳаракати иккинчи батарея таъсирида амалга ошади. Биринчи батареянинг кучланиши ортиши билан база орқали коллекторга етувчи, эмиттердаги тешиклар сони ҳам ортади. Демак, лампали триодда тур ва катод орасидаги кучланиш анод токини бошқаргани каби, транзисторда ҳам база ва эмиттер орасидаги кучланиш коллектор токини бошқаради. 150- *б* расмда ярим ўтказгичли триоднинг шартли белгиси кўрсатилган. Ярим ўтказгичли триодлар кучайтиргичлар ва генераторлар сифатида ишлатилади.

Ярим ўтказгичли асбобларнинг аҳамияти. Ярим ўтказгичли асбоблар вужудга келиши радиотехникада инқилобий бурилиш ясади. Уларнинг соддалиги ва кичиклиги, микромодуллар сифатида узлуксиз

равшида босиб чиқариш усули билан тайёрлаш имконини яратди. Микромодуллар юпқа варақлардек бўлиб, уларда диодлар, триодлар, қаршиликлар ва радиосхеманинг бошқа элементлари ҳосил қилинади. Микромодулларнинг турли комбинацияларини тузиб, олдиндан белгиланган параметрли радиоқурилмаларни ясаш мумкин. Ҳозирги пайтда ярим ўтказгичли диодлар, триодлар, резисторлар ишлатилмайдиган асбобларнинг ўзи мавжуд эмас. Ярим ўтказгичли термистор (терморезистор) ёрдамида температурани ўлчовчи детектор, элементар зарраларни қайд этувчи, фоторезистор — ёруглик энергиясини қайд этувчи ва кўплаб бошқа асбобларни мисол қилиб келтириш мумкин. Космик кемаларнинг барчаси куёш энергиясини электр энергиясига айлантириб берувчи ярим ўтказгичли қуёш батареялари билан жиҳозланган бўлса, тиббиёт инсоннинг нозик органларига кириб, унинг фаолиятидан маълумот берувчи датчиклар (қайд этувчилар) билан жиҳозлангандир. Гарчи, ушбу далилларнинг ўзи ҳам ярим ўтказгичли асбобларнинг фойдаланиш соҳаси кенглигини кўрсатиб турса-да, ҳали уларнинг ишлатилиш истиқболлари жуда кенг. Бу соҳадаги изланишлар тугамаган бўлиб, инсоният ярим ўтказгичлар физикасидан кўплаб янгиликларни кутмоқда.

Синов саволлари

1. Ярим ўтказгичли диод деб қандай асбобга айтилади? 2. Ярим ўтказгичли диоднинг иш принципи. 3. Ёпувчи йўналиш деб ташқи майдоннинг қандай йўналишига айтилади? 4. Қачон ёпувчи қатлам кенгаяди? 5. Қачон ёпувчи қатлам юпқаланади? 6. Ярим ўтказгичли диод токни ҳар иккала йўналиш бўйича ҳам ўтказадими? 7. Ярим ўтказгичли диодларнинг лампали диодлардан афзалликлари нимада? 8. Туннель диодлар қаерда ишлатилади? 9. Триод қандай тузилган? 10. Ярим ўтказгичли триодда коллектор токи нимани бошқаради? 11. Триодлар қаерда ишлатилади? 12. Ярим ўтказгичли асбобларнинг афзалликлари нимада? 13. Ярим ўтказгичлар детектор сифатида қаерларда ишлатилади? 14. Ярим ўтказгичларнинг қуёш батареяси сифатида ва тиббиётда ишлатилиши. 15. Ярим ўтказгичли асбобларнинг ишлатилишига мисоллар келтиринг.

Масала ечиш намуналари

1-масала: Алюминий симдаги ток зичлиги 1 А/мм². Алюминий жисм бирлигидаги эркин электронларнинг сони атомларнинг сонига тенг деб фараз қилиб, электронлар батартиб ҳаракатининг ўртача тезлиги $\langle v \rangle$ аниқлансин.

Берилган:

$j = 1$ А/мм² $= 10^6$ А/м²;

$n_e = n_A$

———

$\langle v \rangle = ?$

Ечиш. Ток зичлиги ва электронлар батартиб ҳаракатининг ўртача тезлиги орасида қуйидаги муносабат мавжуд:

$$j = e \cdot n \langle v \rangle.$$

Бундан $\langle v \rangle$ ни топиб оламиз:

$$< \upsilon >= \frac{j}{e \cdot n}.$$

Бу ерда $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл — электроннинг заряди, $n = n_e - n_A$ — электронларнинг концентрацияси:

$$n = n_e = n_A = \frac{NA}{V_m} = \frac{N_A \cdot \rho}{M}.$$

Унда $<\upsilon>$ учун ифода қуйидаги кўринишини олади:

$$< \upsilon >= \frac{j \cdot M}{N_A \cdot \rho \cdot e}.$$

Бу ерда $N_A = 6{,}02 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$ — Авогадро сони; $V_m = \frac{M}{p}$ — моляр ҳажм; $M = 27 \cdot 10^3$ кг/моль — алюминийнинг моляр массаси; $\rho = 2{,}7 \cdot 10^3$ кг/м^3 — зичлиги. Катталикларнинг қийматларидан фойдаланиб топамиз.

$$< \upsilon >= \frac{10^6 \cdot 27 \cdot 10^{-3}}{6{,}02 \cdot 10^{23} \cdot 2{,}7 \cdot 10^3 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}} \frac{\text{м}}{\text{с}} = 10^{-4} \frac{\text{м}}{\text{с}} = 0{,}1\text{мм}.$$

Жавоб: $<\upsilon> = 0{,}1$ мм/с.

2 - м а с а л а: Агар азотнинг ионлашув потенциали 14,5 В га тенг бўлса, азот атомини ионлаштириш учун электрон қандай энг кичик тезликка эга бўлиши керак?

Берилган:

$u_i = \Delta\varphi = 14{,}5$В;
N_2

———————————

$\upsilon_{min} = ?$

Ечиш. Электрон азот атомини ионлаштириши учун унинг кинетик энергиясининг энг кичик қиймати чиқиш ишига тенг бўлиши керак:

$$E_{к.min} = A$$

ёки

$$\frac{m_e \upsilon_{min}^2}{2} = e \cdot \Delta\varphi = eu_i.$$

Ушбу ифодадан υ_{min} ни топиб оламиз:

$$\upsilon_{min} = \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot u_i}{m_e}}.$$

Бу ерда $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ кл — электроннинг заряди; $m_e = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ кг — массаси. Катталикларнинг сон қийматлари ёрдамида топамиз:

$$\upsilon_{min} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 14{,}5}{9{,}1 \cdot 10^{-31}}} \frac{\text{м}}{\text{с}} = 2{,}3 \cdot 10^6 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Жавоб: $\upsilon_{min} = 2{,}3 \cdot 10^6$ м/с.

Мустақил ечиш учун масалалар

1. Кўндаланг кесимининг юзи 1мм^2 бўлган мис ўтказгичдан 10 А ток оқмоқда. Ҳар бир атомига иккитадан заряд ташувчи электрон тўғри келади деб ҳисоблаб, мисдаги электронлар батартиб ҳаракатининг ўртача тезлиги $\langle v \rangle$ аниқлансин ($\langle v \rangle$ = 3,7 мкм/с).
2. Узунлиги 2 м, кўндаланг кесимининг юзи 0,4 мм^2 бўлган мис ўтказгичдан ток ўтган ҳар бир секундда 0,35 Ж иссиқлик миқдори ажралади. Бу ўтказгичнинг кўндаланг кесим юзидан бир секундда нечта электрон ўтади ($N = 1{,}27 \cdot 10^{19}$)?
3. Агар буюмга 1,8 г никель қатлами ўтирган бўлса, никеллаш қанча вақт давом этади? Ток кучи 2 А (t = 50 мин).
4. Телевизор кинескопида аноддаги тезлаштирувчи кучланиш 16 кВ га тенг. Анoддан экрангача бўлган масофа 30 см. Электронлар бу масофани қанча вақтда ўтади (t = 4 нс)?

XV БОБ. МАГНИТ МАЙДОН

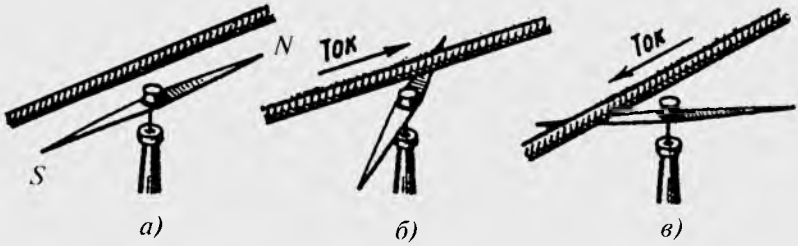
Даниялик физик Х.Эрстед (1777- 1851) электр заряди атрофида электр майдон мавжуд бўлганидек, электр токи атрофида ҳам ўзига хос куч майдони мавжудлигини аниқлади. У электр токи майдонининг магнит стрелкасига таъсирини ўрганганги учун ҳам (1819 й) бу майдонни магнит майдон деб атади. Магнит майдони фақат электр токи атрофида (яъни электр зарядларининг ҳаракати натижасида) вужудга келади ва ҳаракатдаги электр зарядига ёки ўзгармас магнетикка таъсир кўрсатади. Магнит майдон материянинг махсус шакли бўлиб, у орқали ҳаракатдаги зарядланган зарраларнинг ёки магнит моментига эга бўлган жисмларнинг ўзаро таъсири амалга оширилади.

93- §. Магнит майдон. Токли контур

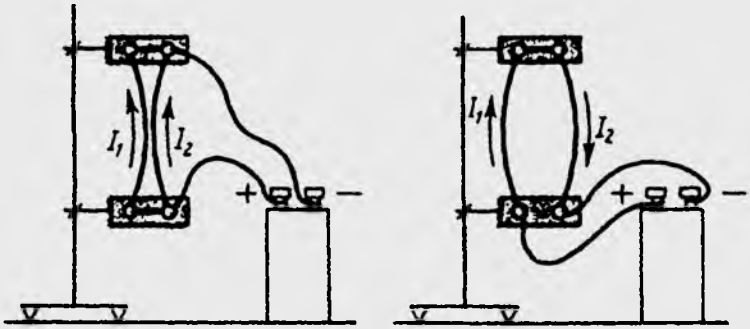
Мазмуни: магнит майдон; магнит заряди мавжудми; токли контур; контурнинг магнит моменти.

Магнит майдон. Магнит майдоннинг вужудга келишини ўрганиш мақсадида магнит стрелкасини токли ўтказгич ёнига келтирамиз. Ўтказгичдан ток ўтмаганда стрелка шимол ва жанубни кўрсатиб, маълум йўналишда жойлашиб туради (151- *а* расм). Агар ўтказгичдан ток ўтказилса, стрелка вазиятининг ўзгариши кузатилади (151- *б* расм). Бунга сабаб токли ўтказгич атрофида вужудга келган куч майдонигина бўлиши мумкин. Агар ўтказгичдан ўтаётган токнинг йўналишини ўзгартирсак магнит стрелкасининг жойлашуви ҳам тескарисига ўзгаради (151- *в* расм). Бу эса токли ўтказгич атрофидаги майдон таъсирининг тескарисига ўзгаришининг натижасидир.

Шунингдек, иккита параллел ўтказгич орқали ток ўтказиб кўрамиз. Агар I_1 ва I_2 токлар бир хил йўналишда оқса ўтказгичлар ўзаро



151- расм.



152- расм.

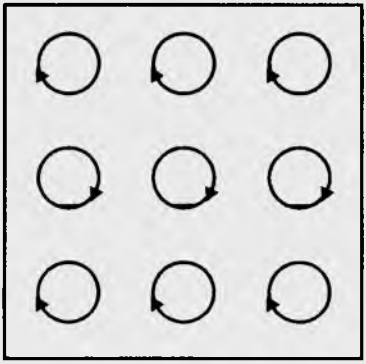
тортишишганини, қарама-қарши йўналишда оққанда эса итаришганини кўрамиз (152-расм). Бизга маълумки, ҳаракатсиз электр зарядлари орасидаги ўзаро таъсир электр майдони воситасида амалга оширилади. Унда токли ўтказгичлар орасидаги таъсир қандай амалга ошади, деган савол туғилади.

Француз физиги А.Амперниг хулосасига кўра, электр токлари бир-бирлари билан кулон характерига эга бўлмаган кучлар билан таъсирлашади.

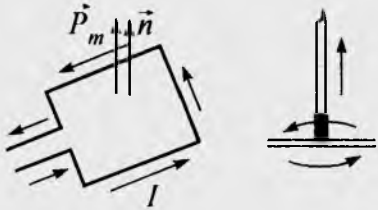
Токли ўтказгичлар, яъни ҳаракатдаги электр зарядлари орасидаги ўзаро таъсирга магнит таьсирлари дейилади. Токли ўтказгичларнинг бир-бирига ўзаро таъсир кучи эса магнит кучлари дейилади. Магнит таъсир кучларининг вужудга келишига сабаб токли ўтказгич атрофида вужудга келадиган магнит майдондир. Магнит майдон ҳам электр майдон каби электромагнит майдоннинг хусусий намоён бўлишидир.

Ҳаракатсиз зарядлар магнит майдон ҳосил қилмайди. Фақат ҳаракатдаги зарядлар (электр токи) ва магнетикларгина магнит майдон ҳосил қилади. Шунинг учун ҳам магнит майдон фақат улар билангина ўзаро таъсирлашиши мумкин.

Магнит заряди мавжудми? Ўзгармас магнетиклар майдонини ўрганиш уларнинг иккита: шимолий (N (инглизча-North) ва жанубий S(инглизча-South) қутбларга эга эканлигини кўрсатди. Бир хил исмли қутблар бир-бирини итаришади, турли хил исмлилари эса тортишишади. Электр зарядникига ўхшаш бундай хусусиятларнинг мавжудлиги табиатда магнит заряди мавжудмикан, деган муаммони ўртага қўйди. Агар шундай бўлса, худди манфий ёки мусбат электр зарядларини ажратиб олиш, яъни жисмларни манфий ёки мусбат зарядлаш мумкин бўлганидек, магнетикларнинг ҳам шимолий ёки жанубий қутбларини ажратиб олиш мумкин бўлиши керак эди. Лекин магнетиклар қанчалик майдаланмасин, барибир икки хил қутбга эга бўлиб қолаверди. Демак, магнетикнинг қутбларини ажратиш мумкин эмас, табиатда алоҳида магнит зарядлари ҳам бўлиши мумкин эмас.



153- расм.



154- расм.

Магнетикларнинг мавжудлигини тушунтириш учун эса Ампер қуйидаги гипотезани олга сурди. Унга кўра, моддаларнинг молекулалари ва атомлари ичида элементар электр токлари айланади ва элементар магнит майдон ҳосил қилади. Агар бу элементар токлар бир-бирларига нисбатан бетартиб жойлашишган бўлса, уларнинг майдонлари бир-бирларини ўзаро компенсациялайди ва жисм ҳеч қандай магнит хусусиятларига эга бўлмайди. Магнетикларда эса элементар токлар ва демак, уларнинг магнит майдони ҳам ташқи таъсир натижасида маълум йўналиш бўйлаб жойлашиб қолган бўлади (153-расм) ва жисм магнит хоссаларини намоён қилади. Демак, исталган жисмнинг магнит хоссалари унинг ичида элементар токлар мавжудлигининг натижасидир. Шундай қилиб, ҳар қандай магнит таъсири токларнинг ўзаро таъсиридир.

Токли контур. Биз физикада турли моделлардан фойдаланишнинг аҳамияти ҳақида сўз юритган эдик. Масалан, электр майдонни ўрганишда нуқтавий заряд, яъни ўз майдони билан ўрганилаётган майдонни ўзгартира олмайдиган заряд тушунчасидан фойдаланганмиз. Магнит майдонни ўрганишда эса токли ёпиқ контур (токли контур) тушунчасидан фойдаланилади. Токли контурнинг ўлчамлари магнит майдон ҳосил қилган токкача бўлган масофаларга нисбатан жуда кичик ва унинг майдони ўрганилаётган майдонни ўзгартира олмайди деб ҳисоблаймиз. Контурнинг фазодаги йўналиши эса унинг нормали билан аниқланади (154-расм).

Нормалнинг мусбат йўналиши ўнг парма қоидаси билан аниқланади, яъни нормал $\vec{n}$ нинг йўналиши парманинг илгариланма ҳаракати билан мос келса, контурдаги токнинг йўналиши парма дастасининг ҳаракат йўналиши билан мос келиши керак.

Тажрибанинг кўрсатишича, магнит майдон токли контурга (синаш контурига) йўналтирувчи таъсир кўрсатар экан. Агар контурдаги токнинг йўналиши ўзгартирилса, контурнинг жойлашиши 180° га ўзгаради. Бу магнит майдоннинг маълум йўналишга эга эканлигининг натижасидир.

Берилган нуқтада магнит майдоннинг йўналиши сифатида токли контурнинг мусбат нормали билан мос келувчи йўналиш қабул қилинади (155-расм). Шунингдек, у шу нуқтада жойлашган магнит стрелкасининг шимолий қутбига таъсир этадиган кучнинг йўналиши билан мос келади.

155- расм.

Контурнинг магнит моменти. Юқорида кўриб ўтганимиздек, магнит майдонига киритилган токли контурга магнит майдони томонидан айлантирувчи куч моменти $\vec{M}$ таъсир қилади. Тажрибаларнинг кўрсатишича, магнит майдоннинг берилган нуқтаси учун токли контурга таъсир этувчи кучлар моменти $M_{мах}$ контурнинг магнит моменти $\vec{P}_m$ нинг магнит майдонни миқдоран характерловчи катталик, магнит индукция вектори $\vec{B}$ га векториал кўпайтмасига тенг

$$\vec{M}_{мах} = \left[\vec{P}_m \cdot \vec{B}\right]. \qquad (93.1)$$

Токли контурнинг магнит хоссаларини характерловчи ва унинг ташқи майдонда ўзини қандай тутишини белгиловчи катталикка контурнинг магнит моменти дейилади ва у контурдан оқаётган ток I нинг контур юзаси S га кўпайтмасига тенг, яъни $P_m = I \cdot S$.

Контурнинг магнит моменти вектор катталик бўлиб, унинг йўналиши контур сиртининг мусбат нормали билан мос келади (154-расм).

$$\vec{P}_m = I \cdot S \cdot \vec{n}. \qquad (93.2)$$

Синов саволлари

1. Магнит майдон қаерда вужудга келади? 2. Магнит майдони нималарга таъсир кўрсатади? 3. Магнит майдони вужудга келишини ким аниқлаган? 4. Магнит майдони материями? 5. Токли ўтказгич ёнидаги магнит стрелкасига таъсир кўрсатадими? 6. Агар ўтказгичдаги токнинг йўналиши ўзгартирилса-чи? 7. Иккита параллел ўтказгичлардан ток оққанда улар қандай таъсирлашишади. Бу токларнинг йўналишига боғлиқми? 8. Токли ўтказгичлар орасидаги ўзаро таъсир қандай амалга ошади? 9. Магнит таъсирлари деб қандай таъсирга айтилади? Магнит кучлари деб-чи? 10. Қандай майдонга магнит майдони дейилади? 11. Ҳаракатсиз заряд атрофида магнит майдони ҳосил бўладими? 12. Магнит майдони ҳаракатсиз зарядга таъсир этадими? 13. Магнит майдони нима учун ҳаракатсиз зарядга таъсир қилмайди? 14. Ўзгармас магнетикларнинг қандай қутблари мавжуд ва улар қандай таъсирлашишади? 15. Табиатда магнит зарядлари мавжудми? 16. Магнетиклар ҳақида Ампер ғояси? 17. Бу ғояга мувофиқ жисмларнинг магнит хоссалари ниманинг натижаси? 18. Токли контур деб қандай контурга айтилади? Унинг йўналиши қандай аниқланади?

19. Магнит майдонига киритилган токли контурга нима таъсир қилади? 20. Магнит майдонига киритилган токли контурга таъсир этувчи кучлар моменти нимага тенг? 21. Контурнинг магнит моменти қандай аниқланади? 22. Контурнинг магнит моменти нимани кўрсатади? 23. Контур магнит моментининг йўналиши қандай аниқланади?

94- §. Магнит майдоннинг индукция вектори. Магнит майдон кучланганлиги

Мазмуни: магнит индукция; магнит индукциясининг бирлиги; магнит индукцияси чизиқлари; магнит майдонининг кучланганлиги; муҳитнинг магнит сингдирувчанлиги; магнит майдон индукцияси ва микротоклар.

Магнит индукция. Майдоннинг бирор нуқтасига турли хил магнит моментли токли контурларни жойлаштириб кўрайлик. Маълум бўлишича уларга таъсир этадиган айлантирувчи моментлар ҳам турлича бўлади. Лекин уларнинг нисбати

$$B = \frac{M_{max}}{P_m} \qquad (94.1)$$

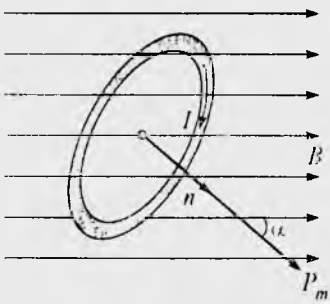
ўзгармас катталик бўлиб қолаверади. Демак, **бу катталик майдоннинг шу нуқтасини характерловчи катталик бўлиб, унга магнит индукцияси дейилади.**

Магнит индукция вектор катталик бўлиб, (94.1) унинг модулини аниқлайди. Магнит майдонни тўла тавсифлаш учун эса ҳар бир нуқтаси учун магнит индукциянинг катталиги ва йўналишини аниқлаш керак. Магнит индукция векторининг йўналиши ташқи магнит майдоннинг йўналиши билан мос келади.

Умумий ҳолда (94.1) га асосан айлантирувчи моменти M нинг токли контурнинг жойлашувига боғлиқлиги қуйидагича:

$$M = B \cdot P_m \cdot \sin\alpha, \qquad (94.2)$$

бу ерда α – $\vec{P}_m$ ва $\vec{B}$ векторлар орасидаги бурчак (156-расм). M ўзининг максимал қийматига $\alpha = \frac{\pi}{2}$ да $\left(\sin\frac{\pi}{2} = 1\right)$ эришади.



156- расм.

Контур мувозанат ҳолатида эса (M=0) $\alpha = 0$ бўлганда, яъни $\vec{P}_m$ ва $\vec{B}$ векторлари бир тўғри чизиқ бўйлаб йўналганда бўлади.

Магнит индукция бирлиги. Магнит индукциянинг СИ даги бирлиги — тесла (Тл) бўлиб, Н.Тесла шарафига шундай номланган.

$$[B] = \frac{[M]}{[P]} = \frac{1Н \cdot м}{1А \cdot 1м^2} = 1\frac{Н}{А \cdot м} = 1Тл.$$

1 Тл шундай магнит майдоннинг индукциясики, ундаги 1 А ток оқаётган $1м^2$ юзали контурга $1Н \cdot м$ айлантирувчи момент таъсир қилади.

Магнит индукция чизиқлари. Электр майдон электр куч чизиқлари воситасида график равишда тасвирланиши мумкин бўлганидек, магнит майдони ҳам магнит индукция чизиқлари (магнит куч чизиқлари) ёрдамида график равишда тасвирланиши мумкин. **Магнит индукция чизиқлари деб исталган нуқтасига ўтказилган уринма шу нуқтанинг $\vec{B}$ вектори билан мос келадиган чизиққа айтилади.**

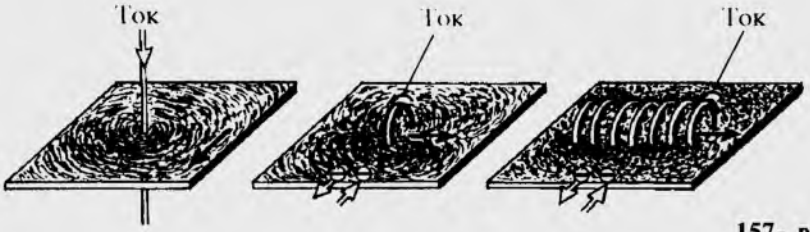
Магнит индукция чизиқларини темир кукунлари ёрдамида кўринадиган қилиш мумкин. Мисол учун тўғри ток ўтказилган шиша пластинка устига темир кукуни ташланиб, секин чертилса, кукунлар куч чизиқлари бўйлаб жойлашиб қолади (157а-расм).

Тажрибадан кўриниб турибдики, токли тўғри ўтказгич атрофидаги магнит индукция чизиқлари текисликда ётувчи, токка перпендикуляр концентрик айланалардан иборат бўлар экан. Айланаларнинг маркази ўтказгичнинг ўқи билан мос келади. Худди шунингдек, темир кукуни ёрдамида исталган шаклдаги токли ўтказгич магнит индукция чизиқларининг тасвирини ҳосил қилиш мумкин (157- *б,в* расмлар).

Ҳосил бўлган манзаралардан қуйидагича хулоса чиқариш мумкин.

Магнит индукция чизиқлари доимо ёпиқ чизиқ характерига эга ва токли ўтказгични қамраб олади. Шунинг учун ҳам магнит майдонига уюрмали майдон дейилади. Магнит майдон индукция вектори чизиқларининг йўналиши ўтказгичдаги токнинг йўналишига боғлиқ бўлиб, ўнг парма қоидасига мувофиқ аниқланади: **Агар ўнг парма учининг илгариланма ҳаракати токнинг ҳаракати билан мос келса, парма дастасининг айланма ҳаракат йўналиши магнит индукция чизиқларининг йўналиши билан мос келади.**

Агар магнит индукция векторлари барча нуқталарда бир хил бўлса ($\vec{B}$ = const), магнит майдонга бир жинсли майдон дейилади. Бир жинсли майдонга узунлиги диаметридан кўп марта катта бўлган галтак, соленоиднинг ичидаги майдон мисол бўлади (157- *в* расм).



157- расм.

Магнит индукция чизиқларининг зичлиги магнит индукцияси $\vec{B}$ нинг қийматини ифодалаши мумкин. Масалан, магнит индукция чизиқларига перпендикуляр бўлган бирлик юза орқали ўтказ' ладиган чизиқларнинг сони магнит майдоннинг шу соҳадаги ма' нит индукциясига тенг ёки пропорционал бўлиши мумкин.

Муҳитнинг магнит сингдирувчанлиги. Агар токли ўтказгич ёрдамида турли моддаларда магнит майдонлари ҳосил қилиниб, токли контур ёрдамида ўрганилса, берилган нуқтадаги магнит индукцияси модданинг турига, яъни муҳитнинг хоссаларига боғлиқлигига ишонч ҳосил қилиш мумкин. $\vec{B}$ ва $\vec{B}_0$ лар мос равишда берилган бир жинсли изотроп муҳит ва вакуумдаги магнит индукциялар бўлсин. Уларнинг нисбати билан аниқланадиган

$$\mu = \frac{B}{B_0}, \tag{94.3}$$

— катталик муҳитдаги магнит индукция вакуумдагига нисбатан неча марта катта (ёки кичик) эканлигини кўрсатади ва унга муҳитнинг магнит сингдирувчанлиги дейилади. У бирликсиз катталик бўлиб, модданинг турига ва ҳароратга боғлиқ. Вакуум учун $\mu = 1$.

Магнит майдоннинг кучланганлиги. Вакуумдаги магнит майдонни $\vec{B}_0$ индукция билан эмас, магнит майдон кучланганлиги $\vec{H}$ билан характерлашга келишилган. Бу иккита катталиклар бир-бирлари билан қуйидагича боғланган:

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}_0}{\mu_0}, \quad \text{ёки} \quad \vec{B}_0 = \mu_0 \vec{H}, \tag{94.4}$$

бу ерда $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Гн}}{\text{м}}$ — магнит доимийси.

(94.3) ва (94.4) ларни умумлаштириб ёзиш мумкин

$$\vec{B} = \mu\mu_0 \vec{H}. \tag{94.5}$$

Агар берилган нуқта учун майдон кучланганлиги ва муҳитнинг магнит сингдирувчанлиги маълум бўлса, унда (94.5) ифода ёрдамида шу нуқтадаги майдон индукциясини аниқлаш мумкин.

Магнит майдон кучланганлигининг СИ даги бирлиги $-1\frac{\text{А}}{\text{м}}$.

$$[\text{H}] = \frac{[\text{B}_0]}{[\mu]} = \frac{1\text{Тл}}{1\frac{\text{Гн}}{\text{м}}} = 1\frac{\text{А}}{\text{м}};$$

$1\frac{\text{А}}{\text{м}}$ — шундай майдоннинг кучланганлигини унинг вакуумдаги магнит индукцияси $4\pi \cdot 10^{-7}$Тл га тенг.

Магнит майдон индукцияси ва микротоклар. Юқорида таъкидлаб ўтилганидек, Ампер гипотезасига мувофиқ исталган жисмда элек-

тронларнинг атомлар ва молекулалардаги ҳаракати натижасида вужудга келадиган микротоклар мавжуддир. Бу микротоклар ўзларининг магнит майдонларини ҳосил қиладилар ва ташқи майдон, яъни макроток таъсирида ўз йўналишларини ўзгартиришлари мумкин. Натижада улар жисмда қўшимча магнит майдон ҳосил қиладилар. Магнит индукция вектори $\vec{B}$: макроток ва микротоклар ҳосил қиладиган натижавий магнит майдонни характерловчи катталикдир. Табиийки, турли муҳитлар учун микротокларнинг майдонлари турлича бўлганлиги сабабли $\vec{B}$ нинг қиймати ҳам турли муҳитлар учун турлича бўлади.

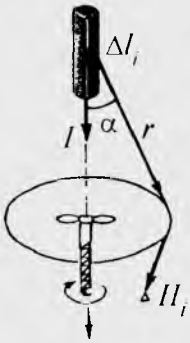
Макротокларнинг ўзлари ҳосил қиладиган магнит майдон эса кучланганлик вектори $\vec{H}$ билан тавсифланади. $\vec{B}$ ва $\vec{H}$ орасида (106.5) боғланиш мавжудлигини кўрдик. Магнит сингдирувчанлик μ — макротокларнинг магнит майдони $\vec{H}$, муҳитнинг микротоклари майдони ҳисобига неча марта ўзгаришини кўрсатади.

Синов саволлари

1. Магнит индукцияси деб нимага айтилади? 2. Магнит индукцияси векторининг йўналиши қандай бўлади? 3. Контурнинг магнит моменти ва магнит индукция векторининг йўналишлари мос келса, контур қандай ҳолатда бўлади? 4. Магнит индукциясининг СИ даги бирлиги ва у қандай индукция? 5. Магнит индукция чизиқлари деб қандай чизиқларга айтилади? 6. Магнит индукция чизиқларини қандай кузатиш мумкин? 7. Токли тўғри ўтказгич атрофидаги индукция чизиқлари қандай бўлади? 8. Магнит индукция чизиқлари қандай характерга эга? 9. Нима учун магнит майдонга уюрмали майдон дейилади? 10. Магнит майдон индукция вектори чизиқларининг йўналиши қандай аниқланади? 11. Бир жинсли магнит майдони деб қандай майдонга айтилади? 12. Индукция чизиқлари ёрдамида индукция векторининг қийматини аниқлаш мумкинми? 13. Магнит майдони муҳитга боғлиқми? 14. Муҳитнинг магнит сингдирувчанлиги деб қандай катталикка айтилади? 15. Магнит сингдирувчанликнинг СИ даги бирлиги ва вакуумдаги қиймати қандай? 16. Магнит майдон кучланганлиги тушунчаси нима учун киритилган? 17. У қандай аниқланади? 18. Магнит доимийсининг қиймати? 19. Майдоннинг бирор нуқтасининг индукциясини қандай топиш мумкин? 20. Магнит майдон кучланганлигининг СИ даги бирлиги ва у қандай кучланганлик? 21. Магнит майдон индукция вектори B нимага тенг? 22. Магнит майдон кучланганлиги H нимага тенг? 23. Магнит сингдирувчанлик μ қандай физик маънога эга?

95- §. Био — Савар — Лаплас қонуни

Мазмуни: Био—Савар—Лаплас қонуни; магнит индукция вектори учун суперпозиция принципи; айланма токнинг магнит майдони; тўғри ўтказгичнинг магнит майдони; соленоид ёки тороиднинг магнит майдони.



158- расм.

Био-Савар-Лаплас қонуни. Турли шаклдаги ўзгармас токнинг магнит майдонлари француз олимлари Ж.Био (1774-1862) ва Ф.Савар (1791-1841) томонларидан ўрганилган. Тажрибалар натижасида эса француз физиги ва математиги П.Лаплас (1749-1827) томонидан умумлаштирган. Ушбу қонунда I ток оқаётган ўтказгич Δl элементининг бирор А нуқтада ҳосил қиладиган магнит индукция вектори қиймати аниқланган (158-расм).

$$\Delta B = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{I \cdot \Delta l \cdot \sin\alpha}{r^2} \qquad (95.1)$$

бу ерда $\vec{r}$ — ўтказгичнинг Δl элементидан A нуқтагача бўлган радиус-вектор, r — унинг модули, α — ток йўналиши ва $\vec{r}$ орасидаги бурчак. (95.1) формула Био — Савар —Лаплас қонуни ифода лайди. ΔB нинг йўналиши ўнг парма қоидасига мувофиқ аниқланади. Агар парманинг илгариланма ҳаракати токнинг йўналиши билан мос келса, парма дастасининг айланма ҳаракати магнит индукция векторининг йўналишини кўрсатади.

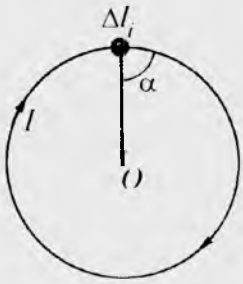
Магнит индукция вектори учун суперпозиция принципи. Электр майдон учун бажарилгани каби магнит майдон учун ҳам суперпозиция принципи ўринлидир. Бир қанча токлар ҳосил қилган натижавий магнит майдоннинг индукцияси, ҳар бир ток ҳосил қилган магнит майдон индукцияларининг геометрик йиғиндисига тенг, яъни

$$\vec{B} = \sum_{i=1}^{n} \vec{B}_i = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \ldots + \vec{B}_n, \qquad (95.2)$$

бу ерда n — токлар сони.

Био — Савар — Лаплас қонуни ва суперпозиция принципи баъзи майдонларни осон ҳисоблаш имконини беради.

Айланма токнинг магнит майдони. Био — Савар — Лаплас қонунидан фойдаланиб, r радиусли, I —ток оқаётган айланма ўтказгичнинг марказидаги (яъни 0 нуқтадаги) магнит майдон индукциясини топайлик. Бунинг учун ўтказгични n та Δl қисмчаларга бўлиб чиқамиз. Δl — r дан жуда кичик бўлиши керак. Био — Савар — Лаплас қонунига мувофиқ Δl_i нинг 0 нуқтада ҳосил қилган магнит майдон индукцияси



159- расм.

$$\Delta B_i = \frac{\mu_0 \mu I}{4\pi} \frac{\sin\alpha}{r^2} \cdot \Delta l_i. \qquad (95.3)$$

159-расмдан кўриниб турибдики, радиус-вектор $\vec{r}$ ва ток йўналиши орасидаги бурчак $\alpha = \frac{\pi}{2}$. Демак, $\sin\alpha = \sin\frac{\pi}{2} = 1$.

0 нуқтадаги тўла индукцияни топиш учун барча ток элементлари (қисмлари) ҳосил қилган индукцияларнинг суперпозициясини топамиз.

$$B = \sum_{i=1}^{n} \frac{\mu_0\mu}{4\pi} \frac{I}{r^2} \Delta l_i = \frac{\mu_0\mu}{4\pi} \frac{I}{r^2} \sum_{i=1}^{n} \Delta l_i.$$

Агар барча Δl_i ларни қўшиб чиқсак, айлананинг узунлиги чиқишини эътиборга олсак:

$$\sum_{i=1}^{n} \Delta l_i = 2\pi r.$$

Магнит майдон индукцияси:

$$B = \frac{\mu_0\mu I}{2r}. \qquad (95.4)$$

Демак, айланма токнинг марказда ҳосил қиладиган магнит майдон индукцияси ўтказгичдан оқадиган ток кучига тўғри пропорционал, айланма ток радиусига эса тескари пропорционал бўлади.

Индукция векторининг йўналиши эса парма қоидасига мувофиқ аниқланади. Агар парма дастасининг ҳаракати ток йўналиши билан мос келса, парма учининг илгариланма ҳаракати индукция векторининг йўналишини кўрсатади.

Тўғри ўтказгичнинг магнит майдони. Чексиз узун, ингичка ўтказгичдан ток оққанда ундан R масофада бўлган нуқтадаги магнит майдон индукцияси

$$B = \frac{\mu_0\mu I}{2\pi R}. \qquad (95.5)$$

Соленоид ёки тороиднинг магнит майдони. Чексиз узун соленоид ёки тороиддан ток оққанда унинг ичидаги магнит майдон индукцияси

$$B = \mu_0\mu In, \qquad (95.6)$$

бу ерда n — соленоид ёки тороиднинг бирлик узунлигига тўғри келувчи ўрамлар сони.

Синов саволлари

1. Био—Савар—Лаплас қонуни. 2. Био-Савар-Лаплас қонуни нимани аниқлашга имкон беради? 3. Магнит индукция векторининг йўналиши қандай аниқланади? 4. Магнит индукция вектори учун суперпозиция принципи. 5. Айланма токнинг марказидаги магнит майдон индукцияси. 6. Индукция векторининг йўналиши учун парма қоидаси. 7. Тўғри ўтказгичнинг магнит майдон индукцияси. 8. Соленоид ёки тороиднинг магнит майдон индукцияси.

96- §. Ампер қонуни

А. Ампер
(1775—1836)

Мазмуни: Ампер қонуни; магнит индукциясининг бирлиги; чап қўл қоидаси.

Ампер қонуни. Магнит майдоннинг мавжудлигини намоён этишнинг усулларидан бири унинг токли ўтказгичга таъсиридир. 1820 йил А.Ампер магнит майдонидаги токли ўтказгичга таъсир кучини аниқловчи қонунни яратди. **Индукцияси B бўлган бир жинсли магнит майдонида жойлаштирилган токли ўтказгичга, ўтказгич бўлагининг узунлиги Δl га , ундан оқаётган ток кучи I га ва магнит майдоннинг индукцияси B га пропорционал куч таъсир қилади.**

$$F = B \cdot I \cdot \Delta l \cdot \sin\alpha, \qquad (96.1)$$

бу ерда α — ўтказгичдаги ток ва $\vec{B}$ вектор йўналишлари орасидаги бурчак.

$\alpha = \frac{\pi}{2}, \sin\alpha = 1$ бўлганда куч ўзининг энг катта қийматига эришади. Агар ўтказгич магнит индукция чизиқлари бўйлаб жойлашган бўлса, $\alpha = 0$, $\sin\alpha = 0$ ва таъсир кучи ҳам нолга тенг бўлади.

Магнит индукция бирлиги. Ампер қонуни ёрдамида магнит индукцияси B нинг бирлигини ҳам аниқлаш мумкин. Бунинг учун I ток оқаётган Δl ўтказгич элементи магнит майдон йўналишига перпендикуляр йўналган бўлсин.

$$F = B \cdot I \cdot \Delta l, \qquad (96.2)$$

бундан эса

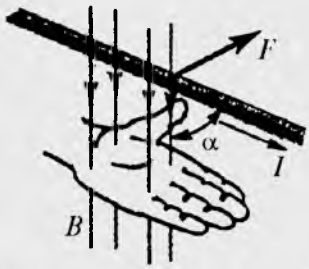
$$B = \frac{1}{I}\frac{F}{\Delta l} \qquad (96.3)$$

$$[B] = \frac{[F]}{[I][l]} = \frac{1\,\text{Н}}{1\text{А} \cdot 1\text{м}} = 1\frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}} = 1\text{Тл}.$$

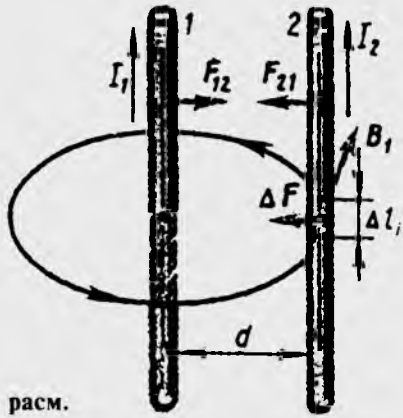
1 Тл — шундай бир жинсли магнит майдоннинг индукциясики, майдон йўналишига перпендикуляр жойлашган ва 1 А ток оқаётган ўтказгичнинг ҳар бир метрига 1 Н куч таъсир этади.

Чап қўл қоидаси. Магнит майдонда жойлаштирилган токли ўтказгичга таъсир этувчи кучнинг йўналишини аниқлаш учун чап қўл қоидасидан фойдаланилади:

чап қўлимизни магнит майдонда шундай жойлаштирайликки, магнит индукция чизиқлари кафтимизга кирса, узатилган тўртта бармоғимиз ўтказгичдаги ток йўналиши билан мос келса, унда очилган бош бармоқ магнит майдонда жойлаштирилган токли ўтказгичга таъсир этаётган кучнинг йўналишини кўрсатади (160-расм).



160- расм.



161- расм.

Бу куч доимо ўтказгич ётган текислик ва $\vec{B}$ векторга перпендикуляр бўлади. Ўтказгичнинг исталган Δl_i элементига таъсир этадиган кучнинг модули ва йўналишини билган ҳолда суперпозиция принципига асосан, ўтказгичга таъсир этадиган тўла кучни топиш мумкин.

Синов саволлари

1. Ампер қонуни нима ҳақида? 2. Ампер қонуни. 3. Агар ўтказгич магнит индукция чизиқлари бўйлаб жойлашган бўлса, таъсир кучи нимага тенг бўлади? 4. СИ да магнит индукциясининг бирлиги ва у қандай индукция? 5. Чап қўл қоидаси нимани аниқлашга имкон беради? 6) Чап қўл қоидаси. 7. Токли ўтказгичга таъсир кучи ўтказгич ётган текисликка ва индукция векторига нисбатан қандай йўналган?

97- §. Параллел токларнинг ўзаро таъсири

М а з м у н и: токли ўтказгичнинг таъсири; параллел токларнинг ўзаро таъсири; ток кучининг бирлиги; магнит доимийси.

Токли ўтказгичнинг таъсири. Ампер қонунини иккита токнинг ўзаро таъсир кучини аниқлашда ҳам қўллаш мумкин. Бир жинсли, изотроп, магнит сингдирувчанлиги μ бўлган муҳитда бир-биридан d масофа иккита параллел тўғри ўтказгичлар 1 ва 2 жойлашган. Улардан бир хил йўналишда I_1 ва I_2 токлар оқаётган бўлсин (161-расм). I_1 ток оқаётган биринчи ўтказгич ўз атрофида магнит майдони ҳосил қилади ва бу магнит майдони I_2 ток оқаётган иккинчи ўтказгичга таъсир кўрсатади. Иккинчи ўтказгичдан ихтиёрий Δl_i элементни ажратамиз. Унга Ампер кучи таъсир қилади.

$$\Delta F_i = B_1 \cdot I_1 \cdot \Delta l_i \cdot \sin\alpha, \qquad (97.1)$$

Бу ерда

$$B_1 = \frac{\mu_0 \mu I_1}{2\pi d} \qquad (97.2)$$

биринчи ўтказгич ҳосил қиладиган магнит майдон индукцияси $\vec{B}_1$ вектор I_2 токли ўтказгичга перпендикуляр бўлганидан $\alpha = \frac{\pi}{2}$, $\sin\alpha = 1$.

Унда (97.2) ни ҳисобга олиб, (97.1) ни қайта ёзамиз:

$$\Delta F_i = \frac{\mu_0 \mu I_1}{2\pi d} I_2 \Delta l_i \quad (97.3)$$

Биринчи ўтказгич томонидан иккинчи ўтказгичга кўрсатиладиган F_{21} кучни топиш учун суперпозиция принципига асосан ΔF_i ларни қўшиб чиқишимиз керак:

$$F_{21} = \sum_{i=1}^{n} \Delta F_i = \frac{\mu_0 \mu I_1 I_2}{2\pi d} \sum_{i=1}^{n} \Delta l_i = \frac{\mu_0 \mu I_1 I_2}{2\pi d} \cdot l.$$

Бу ерда $\sum_{i=1}^{n} \Delta l_i = l$ эканлиги эътиборга олинган. Шундай қилиб, биринчи токли ўтказгичнинг иккинчи токли ўтказгичга таъсир кучи

$$F_{21} = \frac{\mu_0 \mu I_1 I_2}{2\pi d} \cdot l, \qquad (97.4)$$

каби аниқланар экан.

Параллел токларнинг ўзаро таъсири. Энди тескари ҳол, биринчи ўтказгич иккинчиси ҳосил қилган магнит майдонда турган ҳолни қарайлик. Худди юқоридагидек ҳисоблардан кейин иккинчи ўтказгичнинг биринчи ўтказгичга таъсир кучини топамиз:

$$F_{12} = \frac{\mu_0 \mu I_1 I_2}{2\pi d} \cdot l, \qquad (97.5)$$

(97.4) ва (97.5) ларни солиштириб, таъсир кучларининг катталиклари тенг, йўналишлари эса қарама-қарши эканлигини кўрамиз. Демак, параллел ўтказгичлардан бир томонга ток оққанда уларнинг ҳар бирига иккинчиси ҳосил қилган магнит майдони томонидан катталиги қуйидагига тенг бўлган куч таъсир этади:

$$F_{12} = \frac{\mu_0 \mu I_1 I_2}{2\pi d} \cdot l, \qquad (97.6)$$

Параллел токларнинг таъсир кучи ўтказгичлардан оқаётган ток кучларининг кўпайтмасига тўғри, ораларидаги масофага тескари пропорционалдир.

Ток кучининг бирлиги. СИ даги асосий бирликлардан бири ампер (А), токли ўтказгичларнинг магнит таъсирига асосан аниқланган ва француз физиги А.Ампер шарафига шундай номланган

1 А — бўшлиқда бир-биридан 1 м масофада жойлашган, кўндаланг кесим юзаси жуда кичик бўлган, иккита параллел, тўғри, чексиз узун ўтказгичлардан ўтганида бу ўтказгичлар орасида улар узунлигининг ҳар бир метрига $2 \cdot 10^{-7}$ Н ўзаро таъсир кучи вужудга келтирадиган ўзгармас ток кучидир.

Магнит доимийси. Магнит доимийси μ_0 нинг қийматини топиш учун (97.6) — ифоданинг кўринишини қуйидагича ўзгартирамиз ва бунда ўтказгичлар бўшлиқда ($\mu = 1$) деб ҳисоблаймиз:

$$\mu_0 = 2\pi\left(\frac{d}{I_1 I_2}\right)\cdot\left(\frac{F}{l}\right). \qquad (97,7)$$

Агар $I_1 = I_2 = 1$А, d = 1м, $\left(\frac{F}{l}\right) = 2 \cdot 10^{-7}\,\frac{\text{Н}}{\text{М}}$ ларни (97.7) га қўйсак,

$$\mu_0 = 2\pi\left(\frac{1\text{м}}{1\text{А}^2}\right)\cdot 2\cdot 10^{-7}\,\frac{\text{Н}}{\text{м}} = 4\pi\cdot 10^{-7}\,\frac{\text{Н}}{\text{А}^2} = 4\pi\cdot 10^{-7}\,\frac{\text{Гн}}{\text{м}},$$

бу ерда генри (Гн) — индуктивликнинг бирлиги.

Синов саволлари

1. Токли ўтказгичнинг бошқа ток ли ўтказгич элементига таъсир кучи. 2. Параллел токларнинг ўзаро таъсир кучи. 3. СИ да ток кучининг бирлиги нима? 4. 1А қандай токнинг кучи? 5. Магнит доимийсининг қиймати.

98- §. Магнит оқими

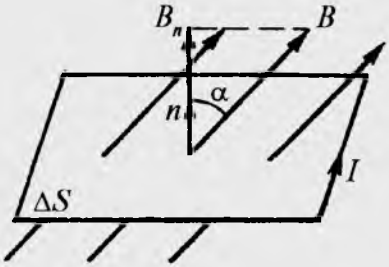
Мазмуни: магнит оқими; магнит оқимининг ишораси; магнит оқимининг бирлиги.

Магнит оқими. Индукция вектори $\vec{B}$ бўлган, бир жинсли магнит майдонида турган юзали ясси сиртни кўрайлик.

ΔS сирт орқали магнит майдон индукция векторининг оқими (магнит оқими) деб B_n нинг (магнит индукция векторининг сирт нормалига проекциясининг) сирт юзаси кўпайтмасига тенг бўлган физик катталикка айтилади:

$$\Delta\Phi = B_n \cdot \Delta S = B \cdot \Delta S \cdot \cos\alpha, \qquad (98.1)$$

бу ерда α — сирт нормали $\vec{n}$ — нинг йўналиши ва индукция вектори $\vec{B}$ орасидаги бурчак (162-расм).



162- расм.

$B_n = B \cdot \cos\alpha$ скаляр катталик бўлганидан магнит оқими ҳам скаляр катталикдир. Умуман олганда, бирор сирт орқали магнит оқими, шу сирт орқали ўтган магнит индукция чизиқларининг сонини характерлайди.

Магнит оқимининг ишораси. $\cos\alpha$ қандай қийматни қабул қилишига қараб магнит оқими мусбат ($\Phi > 0$) ёки манфий ($\Phi < 0$) бўлиши мумкин. $\cos\alpha$ нинг қиймати эса нормалнинг мусбат йўналиши қандай танланишига боғлиқ бўлади. Нормалнинг мусбат йўналиши эса қаралаётган контурдан оқаётган токнинг йўналишига боғлиқ бўлиб, унг парма қоидасига мувофиқ аниқланади.

Ёпиқ сирт орқали магнит оқими нолга тенг, чунки унга кирадиган ва ундан чиқадиган куч чизиқларининг сони тенг.

Магнит оқимининг бирлиги. Магнит оқимининг СИ даги бирлиги — вебер (Вб) немис физиги В.Вебер (1804-1891) шарафига шундай номланган.

1 Вб — 1 Тл индукцияли, бир жинсли магнит майдон куч чизиқларига перпендикуляр жойлаштирилган 1м^2 юзали сиртдан ўтадиган оқимдир.

Синов саволлари

1. Магнит оқими деб қандай катталикка айтилади? 2. Магнит оқими қандай катталик, скалярми ёки векторми? 4. Магнит оқимининг индукция чизиқларига алоқаси борми? 4. Магнит оқимининг ишораси қандай аниқланади? 5. Ёпиқ сирт орқали магнит оқими нимага тенг? 6. Магнит оқимининг СИ даги бирлиги ва у қандай оқим?

99- §. Токли ўтказгични магнит майдонда кўчиришда бажарилган иш

М а з м у н и: токли ўтказгични магнит майдонга кўчиришда бажарилган иш; ишнинг магнит оқими ўзгаришига боғлиқлиги.

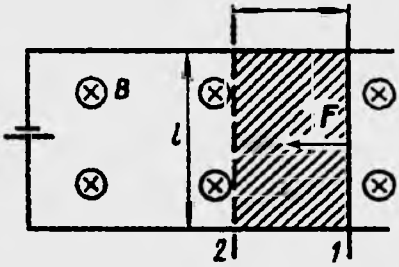
Магнит майдонидаги токли ўтказгичга ампер қонуни билан аниқланувчи куч таъсир қилади. Бу кучнинг ишини ҳисоблаш учун 163-расмдагидек занжир тузамиз ва Ампер кучи таъсирида қўзғалиши мумкин бўлиши учун бир томонини маҳкамламай, илгакча орқали улаймиз.

Агар ушбу системани индукцияси расм текислигига перпендикуляр йўналган бир жинсли магнит майдонда жойлаштирсак, ўтказгич ҳаракатлана бошлайди. Ўтказгичга таъсир этадиган кучнинг кат-

талиги Ампер қонунига, йўналиши эса чап қўл қоидасига мувофиқ аниқланади. $\alpha = \frac{\pi}{2}$ бўлганлиги учун $\sin\alpha = 1$ ва Ампер кучи

$$F = B \cdot \ell \cdot I \qquad (99.1)$$

кўринишга эга бўлади.



163- расм.

Ўтказгич F куч таъсирида 1 ҳолатдан 2 ҳолатга Δx га кўчсин. Бунда қуйидагича механик иш бажарилади, яъни:

$$\Delta A = F \cdot \Delta x = B \cdot I \cdot \ell \cdot \Delta x. \qquad (99.2)$$

Бу ифодадаги $l \cdot \Delta x = S$ ўтказгич ҳаракатланганда камраб оладиган юза. Унда (98.1) га асосан

$$\Delta A = I \cdot B \cdot \Delta S = I \cdot \Delta \Phi. \qquad (99.3)$$

Токли ўтказгични магнит майдонда кўчиришда Ампер кучларининг бажарган иши, ток кучининг ўтказгич ҳаракатланганда қамраб оладиган сирт орқали магнит оқимига кўпайтмасига тенг.

$\Delta\phi$ ўтказгич ҳаракатланганда кесиб ўтадиган магнит индукция чизиқлари сонини характерлагани сабабли, чизиқли ўтказгич бир неча бор кўчганда ишни ҳисоблаш учун ўтказгич кесиб ўтган магнит куч чизиқларининг йиғиндисини олиш керак.

Синов саволлари

1. Ўтказгичнинг кўчишини кузатиш учун қандай занжирдан фойдаланиш мумкин? 2. Индукция вектори ва ток кучининг йўналиши ўзаро перпендикуляр бўлса, Ампер кучи нимага тенг бўлади? 3. Ўтказгични кўчиришда бажарилган механик иш нимага тенг? 4. Токли ўтказгични магнит майдонида кўчиришда Ампер кучининг иши. 5. Бу куч ўтказгич кесиб ўтадиган магнит оқимига боғлиқми?

100- §. Магнит майдоннинг ҳаракатланаётган зарядга таъсири. Лоренц кучи

М а з м у н и: Лоренц кучи; Лоренц кучининг таъсири ва йўналиши.

Лоренц кучи. Тажрибаларнинг кўрсатишича магнит майдон на фақат токли ўтказгичга ва балки магнит майдонда ҳаракатланаётган алоҳида зарядга ҳам таъсир қилади. Чунки ҳаракатланадиган заряд ҳам ўз атрофида магнит майдон ҳосил қилади. Магнит майдонда υ тезлик билан ҳаракатланаётган Q электр зарядига таъсир этадиган кучга Лоренц кучи дейилади ва у қуйидагига тенг:

164- раем.

$$F_л = Q \cdot v \cdot B \cdot \sin\alpha. \qquad (100.1)$$

Бу ерда B — заряд ҳаракатланаётган майдоннинг индукцияси, α — заряднинг ҳаракат тезлиги вектори $\vec{v}$ ва магнит майдон индукция вектори $\vec{B}$ орасидаги бурчак.

Лоренц кучининг йўналиши. Лоренц кучининг йўналиши ҳаракатланаётган мусбат заряд учун чап қўл қоидасига мувофиқ аниқланади. Агар магнит индукция векторлари чап қўлимизнинг кафтига кираётган, мусбат заряднинг ҳаракат йўналиши эса очилган бармоқлар томонга йўналган бўлса, унда бош бармоқнинг йўналиши Лоренц кучининг йўналишини кўрсатади (164-расм). Заряднинг ишораси ўзгариши билан кучнинг йўналиши ҳам тескарисига ўзгаради. Юқоридаги таърифдан ва 164-расмдан кўриниб турибдики, Лоренц кучи тезлик $\vec{v}$ ва индукция $\vec{B}$ векторларига перпендикуляр йўналган.

Лоренц кучининг таъсири. (100.1) — ифодадан кўриниб турибдики:

1) агар заряд ҳаракатсиз бўлса, яъни $v = 0$, унда $F_л = 0$. Демак, магнит майдон ҳаракатсиз зарядга таъсир кўрсатмайди, яъни ҳаракатсиз заряд атрофида магнит майдон ҳосил бўлмайди;

2) агар $\alpha = 0$, яъни заряд магнит индукция вектори бўйлаб ҳаракатланса, (тезлик вектори $\vec{v}$ индукция вектори $\vec{B}$ га параллел бўлса), унда зарядга магнит майдони томонидан ҳеч қандай куч таъсир этмайди;

3) Лоренц кучи заряднинг ҳаракат тезлигига перпендикуляр бўлганлиги учун, унинг тезлигининг модулини, яъни кинетик энергиясини ўзгартиролмайди. Демак, Лоренц кучи иш бажара олмайди;

4) Лоренц кучи заряднинг ҳаракат тезлигига перпендикуляр бўлганлиги учун, унинг тезлигининг йўналишини ўзгартиради. Агар заряд бир жинсли майдонда ҳаракатланаётган бўлса, унда Лоренц кучи марказга интилма куч вазифасини бажариб, заряднинг харакат траекториясини эгрилайди.

Синов саволлари

1. Магнит майдон ҳаракатсиз зарядга таъсир кўрсатадими? Ҳаракатдаги зарядга-чи? 2. Лоренц кучи нима ҳақида? 3. Лоренц кучи. 4. Лоренц кучининг йўналиши қандай аниқланади? 5. Заряднинг ишораси ўзгарса Лоренц кучининг йўналиши ўзгарадими? 6. Нима учун Лоренц кучи ҳаракатсиз зарядга таъсир кўрсатмайди? 7. Агар заряд магнит индукция вектори бўйлаб ҳаракатланса Лоренц кучи таъсир қиладими? 8. Лоренц кучи таъсирида заряднинг кинетик энергияси ўзгарадими? 9. Лоренц кучи иш бажарадими? 10. Лоренц кучи таъсирида заряднинг ҳаракатида қандай ўзгариш рўй бераді?

101- §. Тезлатгичлар

М а з м у н и : зарядланган зарранинг магнит майдонидаги ҳаракати; зарядланган зарранинг электр ва магнит майдонидаги ҳаракати; тезлатгичлар; циклотрон.

Зарядланган зарранинг магнит майдонидаги ҳаракати. Магнит майдонининг ҳаракатланаётган зарядга таъсири космик нурлар таркибидаги зарраларнинг зарядлари ишорасини аниқлашда жуда қўл келади. Соддалик учун магнит майдонини бир жинсли деб ҳисоблаймиз.

Кучли магнит майдонига (магнит индукция векторининг йўналиши биздан расм томон йўналган) кирган зарядланган зарранинг ҳаракат траекторияси кескин ўзгаради (165-расм). Зарядининг ишорасига қараб зарралар ўнгга ва чапга қараб огади, оғиш радиуси R ни марказга интилма куч ва Лоренц кучларининг тенглиги шартидан аниқлаш мумкин.

$$\frac{mv^2}{R} = Q \cdot v \cdot B . \qquad (101.1)$$

Бу ерда m — зарра массаси, v — тезлигининг модули, Q — заряди, B - майдон индукцияси.

(101.1) дан қуйидагини топамиз:

$$R = \frac{mv}{Q \cdot B} . \qquad (101.2)$$

Индукция вектори $\vec{B}$ га нисбатан β бурчак ҳосил қилиб, v тезлик билан учиб кирган зарра куч чизиғи атрофида спиралсимон траектория бўйлаб ҳаракат қилади (166-расм). Спиралнинг қадами h зарра тезлигининг тангенциал ташкил этувчиси v_t га, спирал радиуси R эса тезликнинг нормал ташкил этувчиси v_n га боғлиқ бўлади.

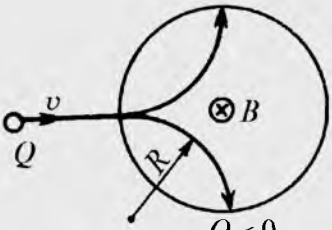
Зарядланган зарранинг электр ва магнит майдонидаги ҳаракати. Зарядланган зарра бир пайтнинг ўзида ҳам электр, ҳам магнит майдонида ҳаракатланаётган бўлсин. Унда зарядга таъсир этадиган куч ҳар иккала майдон таъсир кучларининг геометрик йиғиндисига тенг бўлади, яъни

$$\vec{F} = \vec{F}_э + \vec{F}_л = Q \cdot \vec{E} + Q\left[\vec{v} \cdot \vec{B}\right], \qquad (101.3)$$

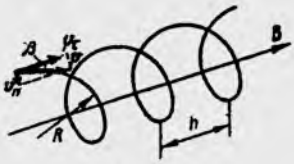
бу ерда $\vec{E}$ — электр майдон кучланганлиги.

Бу кучдаги электр ва магнит ташкил этувчилари орасида муҳим тафовут мавжуд.

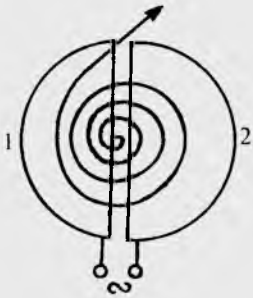
Электр майдони зарра тезлигининг модулини ва демак, унинг кинетик энергиясини ҳам ўзгартиради. Магнит майдони эса фақатгина зарранинг ҳаракат йўналишинигина ўзгартиради.



165- расм.



166- расм.



167- расм.

Зарядланган заррани бир пайтнинг ўзида ҳам электр, ҳам магнит майдонидан ўтказиб, (101.2) ифода ёрдамида солиштирма заряди $\frac{Q}{m}$ — муносабатни аниқлаш мумкин.

Электрон учун $\frac{e}{m_e} = 1{,}7588 \cdot 10^{11}$ Кл/кг бу муносабат протон учун эса $\frac{e}{m_e} = 9{,}5488 \cdot 10^{7}$ Кл/кг га тенг.

Зарраларни солиштирма зарядларига қараб ажратишда ишлатиладиган асбобларга масс-спектрографлар дейилади.

Тезлатгичлар. Атом ядросининг таркибини ўрганиш учун унинг ичига «қараш» яъни «нигоҳ ташлаш» керак. Бундай «қараш» катта энергияли зарралар ёрдамида амалга оширилади. Ядрога урилган зарра ундан сочилиши, парчаланиши, ютилиши ёки бирор қисмини уриб чиқариши мумкин. Айнан шу натижалар асосида ядрога «нигоҳ ташланади» ва унинг таркиби, тузилиши, хоссалари ҳақида хулоса чиқарилади. Бундай ишларни амалга оширадиган зарраларга катта энергияни эса тезлатгичлар ёрдамида берилади. **Зарядланган зарраларнинг тезлатгичлари деб электр ва магнит майдонлари таъсирида юқори энергияли зарядланган зарралар (электронлар, протонлар, мезонлар ва ҳоказо) дастаси ҳосил қилинадиган ва бошқариладиган қурилмага айтилади.**

Тезлатгичлар турли-туман бўлиб, улардан бири Циклотроннинг иш принципи билан танишайлик.

Циклотрон. Циклотронда (циклик тезлатгич) зарядланган зарра электромагнит қутблари орасида, кўп марта электр майдонидан ўтиб ҳаракатланади. Ҳар бир ўтишда унинг энергияси 10^2 — 10^3 эВ га ортади. Зарраларнинг ҳаракати магнит майдони ёрдамида бошқарилади. Циклотроннинг иш схемаси 167- расмда кўрсатилган. Кучли электромагнитнинг қутблари орасида иккита электрод (1 ва 2) — ковак яримцилиндр кўринишидаги дуантлар ўрнатилган вакуумли камера жойлаштирилган. Дуантларга ўзгарувчан электр майдон қўйилган. Электромагнит ҳосил қиладиган бир жинсли магнит майдони дуантлар текисликларига перпендикуляр.

Зарядланган зарра дуантлар орасидаги оралиқнинг ўртасига киритилса, у электр майдони ёрдамида тезлатилиб ва магнит майдони ёрдамида огдирилиб, 1 дуантга киради. Сўнгра эса, радиуси зарра тезлигига пропорционал бўлган ярим айлана бўйлаб ҳаракат қилади. У 1- дуантдан чиққанида кучланишнинг қутблари ўзгаради, зарра 2 дуантга ўтиб, янада тезлашади ва каттароқ ярим айлана бўйлаб ҳаракат қилади. Заррани тезлатиш жараёни шу тариқа давом этади.

Зарра циклотронда узлуксиз тезлашиши учун зарранинг магнит майдонида айланиш даври ва электр майдони тебранишининг мослигига эришиш муҳим аҳамиятга эга. Шундагина зарра ҳар бир тирқишдан ўтишида қўшимча энергия олиб, буралма спирал шаклидаги траектория бўйлаб ҳаракат қилади. Энергияси ва айланиш радиуси мумкин бўлган энг катта қийматга эришилган энг сўнгги ҳалқада зарралар оқими оғдирувчи электр майдони воситасида циклотрондан чиқариб олинади. Циклотронда протонларни 20 МэВ энергиягача тезлатиш мумкин.

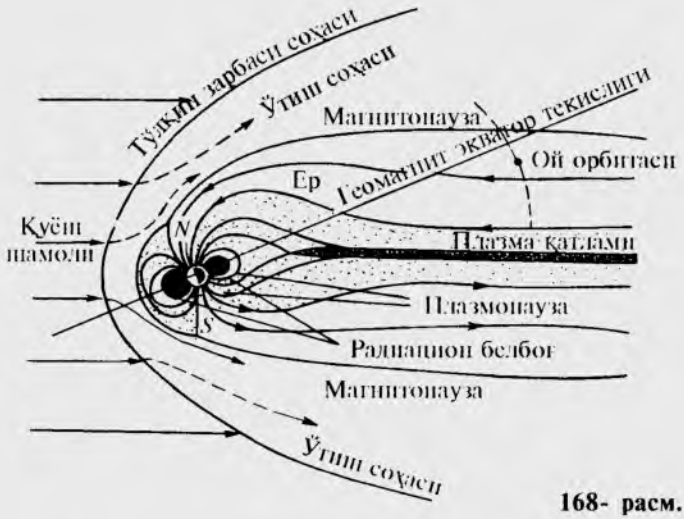
Синов саволлари

1. Магнит майдоннинг зарядга таъсирини ўрганишнинг қандай аҳамияти бор? 2. Магнит майдонига киритилган зарядланган зарра қандай ҳаракат қилади? 3. Зарядланган зарра куч чизиги атрофида қандай ҳаракат қилади? 4. Спиралнинг қадами нималарга боғлиқ бўлади? 5. Зарядланган зарра бир пайтнинг ўзида ҳам электр, ҳам магнит майдонида ҳаракатланса, унга қандай кучлар таъсир этади? 6. Электр ва магнит майдонлари таъсирларининг натижалари қандай бўлади? 7. Солиштирма заряд деб нимага айтилади? 8. Солиштирма зарядни қандай аниқлаш мумкин? 9. Масса-спектрографлар нима мақсадда ишлатилади? 10. Катта энергияли зарралар нима учун керак? 11. Ядронинг таркиби қандай аниқланади? 12. Тезлатгичлар деб қандай қурилмаларга айтилади? 13. Тезлатгичлар нима учун керак? 14. Циклотрон қандай тезлатгич? 15. Циклотронда зарядланган зарра қандай қилиб тезлатилади? 16. Циклотроннинг тузилиши. 17. Циклотронда зарраларнинг тезлашиш жараёни 18. Циклотронда зарралар қандай траектория бўйлаб ҳаракатланишади? 19. Циклотронда қандай зарралар тезлатилади? 20. Циклотронда протонлар қанча энергиягача тезлатилиши мумкин?

102- §. Ернинг магнитосфераси ва унинг қуёш шамоли билан ўзаро таъсири

Мазмуни: магнитосфера; қуёш шамоли; қуёш шамолининг Ерга таъсири.

Магнитосфера. Магнитосфера деб — Ернинг хусусий магнит майдони билан аниқланувчи ер атрофидаги маълум фазога айтилиб, унинг хоссалари, ўлчамлари ва шакли қуёшдан келувчи зарядланган зарралар оқими, яъни қуёш шамоли билан ўзаро таъсири асосида аниқ-



168- расм.

ланади. Магнитосфера — сфера кўринишига эга бўлмай, қуёшга қарама-қарши томони қаттиқ чўзилган бўлади. Қуёш томондаги ер магнит майдони қуёш шамоли таркибидаги плазма оқими томонидан қисилса, унга қарама-қарши томондаги магнит майдон куч чизиқлари думга ўхшаб чўзилиб кетади (168-расм). Думнинг диаметри Ернинг радиусидан қирқ марта катта бўлиши мумкин.

Қуёш шамоли. Қуёш шамоли — қуёш тожининг сайёраларо бўшлиқдаги плазмадан иборат доимий радиал оқимидир. Унинг таркиби, асосан, протонлардан иборат бўлиб, оз миқдорда гелий ядроси, кислород, кремний, олтингугурт, темир ионлари мавжуд. Улар Ер орбитасига жуда катта тезликлар билан етиб келишади. Масалан, протонларнинг тезлиги 300-750 км/с ни ташкил қилади. Ер атрофида қуёш шамоли зарраларининг Ер геомагнит майдони билан тўқнашувлари ер магнитосфераси олдидан стационар зарба тўлқини фронтини вужудга келтиради. Натижада қуёш шамоли магнитосфера сиртидан гўёки оқиб ўтади.

Қуёш шамолининг ерга таъсири. Умуман олганда магнитосфера қуёш шамолини Ерга қарийб ўтказмайди. Қуёш шамолининг асосий қисми Ердан ўн радиус атрофидаги масофада жойлашган магнитопаузани айланиб ўтади. Уни ёриб кирган юзлаб кэВ энергияли зарраларни эса магнит тузоқлари, яъни магнитосферанинг магнит майдони тутиб қолади. Бу зарралар Ернинг радиацион белбоғини ташкил қилади. Шу билан бирга Ер магнит майдонининг қутбларида ёриқ (шаффоф жой) мавжуд бўлиб, унга қуёш шамолининг зарралари кириши мумкин. Бу зарралар қутб ёғдусини вужудга келтиради.

Қуёшдаги чақнашлар натижасида қуёш шамоли интенсивлигининг ўзгариши магнитосферадаги бўронларни вужудга келтиради.

Натижада қутб ёғдусининг кучайиши, радиацион белбоғда зарралар оқимининг ортиши ва Ер магнит майдонининг ўзгариши рўй беради.

Космик аппаратлар ёрдамида ўрганиш бир қанча бошқа сайёралар: Меркурий, Юпитер, Сатурн, Венераларда ҳам магнитосфера мавжудлигини кўрсатди.

Синов саволлари

1. Магнитосфера деб нимага айтилади? 2. Магнитосферанинг ўлчамлари ва хоссалари қандай аниқланади? 3. Магнитосфера қандай кўринишга эга? 4. Нима учун магнитосферанинг қуёшга қарама-қарши томони чўзилган бўлади? 5. Қуёш шамоли нима? 6. Қуёш шамолининг таркиби. 7. Қуёш шамоли таркибидаги протонларнинг тезликлари нимага тенг? 8. Қуёш шамолини магнитосфера сиртидан оқиб ўтишга нима мажбур қилади? 9. Қуёш шамоли Ерга ўтадими? 10. Қуёш шамоли қандай қатламни айланиб ўтади? 11. Магнитопаузадан ўтган зарраларни нима тутиб қолади? 12. Қуёш шамолининг бирор қисми ерга етиб келадими? 13. Қутб ёғдуси қандай вужудга келади? 14. Қуёшдаги чақнашлар Ерда қандай ўзгаришларни вужудга келтириши мумкин? 15. Бошқа сайёраларда ҳам магнитосфера қатлами мавжудми?

103- §. Диа-, Пара- ва ферромагнетизмларнинг табиати

М а з м у н и : диамагнетиклар; парамагнетиклар; ферромагнетиклар; доменлар назарияси; Кюри нуқтаси; гистерезис.

Диамагнетиклар. Диамагнетикларнинг кўпчилик атомлари хусусий магнит моментларига эга бўлмай, уларнинг магнит моментлари ташқи майдон таъсирида вужудга келтирилади. Бу жараён қутбланмаган диэлектрикларда электр моменти вужудга келиш жараёнига ўхшайди. Вужудга келадиган магнит майдон индукцион ташқи майдон $\vec{B}_0$ га пропорционал эканлигини ҳисобга олиб, ёзиш мумкин (диэлектрикка ўхшатиб)

$$\vec{B} = \mu \vec{B}_0 \qquad (116.1)$$

бу ерда, диамагнетиклар учун $\mu < 1$, чунки ташқи майдон таъсирида вужудга келган микротокнинг магнит моменти ташқи майдонни кучсизлантириш томонга йўналган бўлади.

Диамагнетикнинг хусусиятлари ҳароратга боғлиқ эмас, чунки атомларнинг иссиқлик ҳаракатлари атом ичида вужудга келган токларнинг йўналишларини буза олмайди. Диамагнетик эффект барча моддаларга хос хусусиятдир. Диамагнетикларнинг типик вакиллари сифатида сув, мармар, олтин, мис, симоб ва инерт газларни келтириш мумкин.

Парамагнетиклар. Парамагнетикларнинг молекулалари нолдан фарқли хусусий магнит моментларига эга. Магнит майдони бўлмаганда бу моментлар бетартиб жойлашган бўлиб, жисмнинг магнитланиш вектори нолга тенг бўлади.

Парамагнет ташқи майдонга киритилганда алоҳида атомлар ва молекулаларнинг магнит моментлари майдон бўйлаб жойлашиб қолади. Натижада парамагнетикларнинг хусусий майдони ташқи магнит майдонини кучайтиради, яъни ташқи магнит майдоннинг кучайиши рўй беради ($\mu > 1$).

Парамагнетикларнинг магнитланиш ҳароратига боғлиқ бўлади ва ҳарорат ортиши билан магнит сингдирувчанлиги ёмонлашади. Бунга сабаб, иссиқлик бетартиб ҳаракати натижасида атом ва молекулалар магнит моментларининг ташқи майдон таъсирида эгаллаган ўзаро жойлашувларининг бузилишидир.

Парамагнетикларнинг магнит сингдирувчанлиги, диамагнетикларники каби ташқи магнит майдон индукциясига боғлиқ эмас.

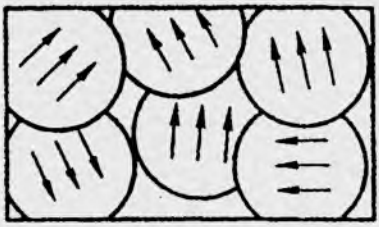
Парамагнетикларга кислород, алюминий, платина ва ишқор ҳосил қиладиган металлар киради.

Ферромагнетиклар. Ферромагнетизм — парамагнетизмнинг чегара ҳоли ҳисобланади. Ферромагнетиклар — кучли магнетиклар ҳисобланиб, ўз-ўзидан магнитланиб қолиши мумкин. Ҳаттоки ташқи магнит майдон бўлмаганда ҳам улар магнитланиш қобилиятига эга бўладилар. Уларнинг яна бир алоҳида хусусиятлари магнитланишларининг (3) ташқи майдонга боғлиқлигининг мураккаб характерга эга эканлигидир (169-расм).

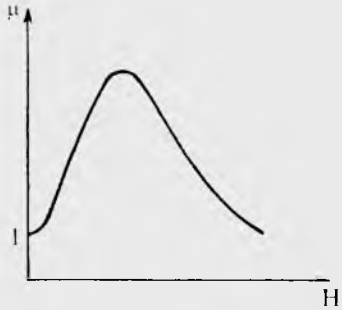
Агар диамагнетик ва парамагнетиклар учун магнитланишнинг ташқи майдон кучланганлигига боғлиқлиги чизиқли бўлса, ферромагнетиклар учун анча мураккабдир. Дастлаб магнитланиш тез ортади, сўнгра эса секинлашиб маълум қийматга эга бўлгандан сўнг ўзгармай қолади. Магнитланишнинг бу қийматига тўйиниш қиймати дейилади. Бундай боғланишни қуйидагича тушунтириш мумкин. Ташқи майдон кучайиши билан молекулалар магнит моментларининг майдон бўйлаб жойлашиб қолиши ортади. Магнит моментлари майдон бўйлаб жойлашмаган молекулалар сони камайган сари магнитланишнинг ўсиши ҳам камая боради ва ниҳоят барча магнит моментлари майдон бўйлаб жойлашиб бўлганидан сўнг магнитланишнинг тўйинган қийматига эришилади.

169- расм.

Доменлар назарияси. Тажрибаларнинг кўрсатишича баъзи ферромагнетиклар ташқи майдон бўлиш-бўлмаслигидан қатъи назар, ўз-ўзидан магнитланиб қолиш хусусиятига эга бўладилар. Бу ҳодисани тушунтириш учун француз



170- расм.



171- расм.

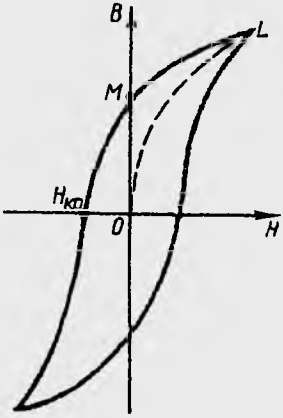
физиги П.Вейс (1865-1940) **доменлар** назариясини олга сурди. Ушбу назарияга мувофиқ, ферромагнит — жуда кўп миқдордаги кичик микроскопик соҳалар — доменларга ажратилиб, улар ўз-ўзидан магнитланадилар (170-расм). Ташқи магнит майдон бўлмаганда доменларнинг магнит моментлари ҳам бетартиб жойлашган бўлиб, бир-бирларини йўқотадилар. Ташқи майдонга киритилганда эса майдон алоҳида атом ва молекулаларни эмас, балки доменларни майдон бўйлаб йуналтиради. Айнан шу сабабли майдон кучланганлиги ортиши билан магнитланиш жуда тез ортади (169-расм). Доменлар ўз-ўзидан майдон бўйлаб жойлашиб қолиши мумкин.

Диамагнетиклардан ва парамагнетиклардан фарқли равишда ферромагнетикларнинг магнит сингдирувчанлиги ташқи майдон кучланганлигига боғлиқдир (171-расм).

Ферромагнетикларнинг магнит киритувчанлиги анча катта бўлади. Масалан, темир учун μ = 5000, супермаллой қотишмаси учун μ = 800000 ва ҳоказо. Ферромагнетизм ҳодисаси биринчи бўлиб темирда ўрганилган. Ферромагнетизм аталишининг келиб чиқиши ҳам шундан.

Кюри нуқтаси. Ферромагнетиклар ўзига хос ажойиб хусусиятга эгадирлар. Ҳар бир ферромагнетик учун Кюри нуқтаси деб аталувчи маълум ҳарорат мавжуд бўлиб, шу ҳароратдан бошлаб у ўзининг магнит хусусиятларини йўқотади. Кюри нуқтасидан юқорироқ ҳароратдаги ферромагнетиклар парамагнетикларга айланади. Темир учун Кюри нуқтаси 1043 К, Кобальт учун 1393 К, никель учун 631 К.

Гистерезис. Биз юқорида ферромагнетикларнинг магнит сингдирувчанлиги μ ташқи майдон кучланганлиги *H* га боғлиқлигини кўрдик. Энди магнит индукцияси *B* ва *H* орасидаги боғланишни кўрамиз. Магнитланишда ферромагнетик ичидаги магнит майдони *O* дан *H* нинг маълум қийматигача ортиб боради (172-расм). Ферромагнетикдаги индукция қийматининг ўзгариши *OL* чизиқ билан характерланади. Агар *H* камайса, индукциянинг камайиши *LM* чизиқ билан ифодаланади. ***H*** = O бўлганда ҳам индукция нолдан фарқли бўлади. Қолдиқ магнитланишни йўқотиш учун эса олдингисига тескари йўналишда майдон қўйиш керак бўлади. Майдон кучлан-



172- расм.

ганлигининг $B = O$ даги қиймати тутувчи ёки коэрцитив куч $H_{кр}$ дейилади. Майдон ўзгариши билан индукция ҳам 172-расмда кўрсатилгандек ўзгаради. **Ҳосил бўлган чизиққа гистерезис дейилади.** Коэрцитив кучларнинг қийматига қараб ферромагнетиклар юмшоқ ва қаттиқ ферромагнетикларга бўлинади.

Юмшоқ ферромагнетиклар учун гистерезис сиртмоғи ингичка ва коэрцитив кучларнинг қиймати кичик бўлади. Уларга темир, пермаллай ва бошқалар мисол бўлади. Юмшоқ ферромагнетиклардан трансформатор, генератор, электродвигателларнинг ўзаклари ясалади.

Қаттиқ ферромагнетиклар учун гистерезис сиртмоги кенг ва коэрцитив кучларнинг қийматлари ҳам катта бўлади.

Шуни таъкидлаш лозимки, гистерезис сиртмогининг юзаси ферромагнетикни магнитлаш учун бажариш керак бўлган ишни характерлайди.

Қаттиқ ферромагнетикларга пўлат ва унинг қотишмалари киради, одатда улардан доимий магнетиклар тайёрлашади.

Қуйида баъзи моддаларнинг магнит сингдирувчанлигини келтирамиз.

10-жадвал

Парамагнетиклар	μ	Диамагнетиклар	μ
Азот (газ)	1,00013	Водород (газ)	0,999937
Ҳаво (газ)	1,000038	Сув	0,999991
Кислород (газ)	1,000017	Шиша	0,999987
Кислород (суюқ)	1,0034	Рух	0,999991
Эбонит	1,000014	Кумуш	0,999981
Алюминий	1,000023	Олтин	0,999963
Вольфрам	1,000253	Мис	0,999912
Платина	1,000253	Висмут	0,999824

Синов саволлари

1. Диамагнетиклар деб қандай моддаларга айтилади? 2. Диамагнетикларнинг атомлари хусусий магнит моментларига эгами? 3. Атомларнинг хусусий магнит моментлари қандай вужудга келади? 4. Вужудга келадиган магнит майдон индукцияси нимага тенг? 5. Диамагнетикда ташқи майдон таъсирида вужудга келадиган микротокларнинг магнит моменти ташқи майдонни қандай ўзгартиради? 6. Диамагнетикнинг хусусиятлари температурага боғлиқми? 7. Диамагнетикларга мисоллар келтиринг. 8. Парамаг-

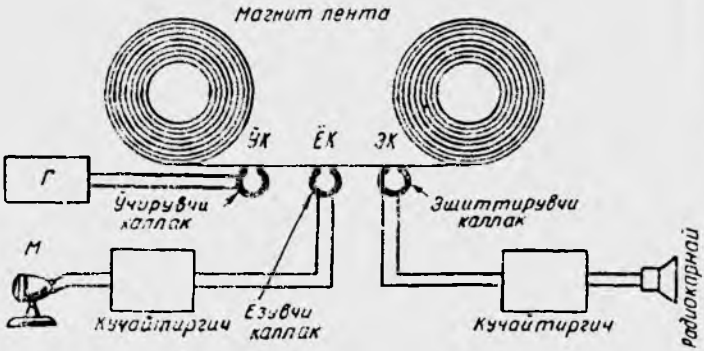
нетиклларнинг молекулалари хусусий магнит моментига эгами? 9. Ташқи майдон парамагнетикларга қандай таъсир кўрсатади? 10. Парамагнетикларнинг хусусий майдони ташқи майдонни қандай ўзгартиради? 11. Парамагнетикларнинг магнитланиши ҳароратга боғлиқми? Бунга сабаб нима? 12. Парамагнетикларнинг магнит сиғдирувчанлиги ташқи майдон шиддатиясига боғлиқми? 13. Парамагнетикларга мисоллар келтиринг. 14. Ферромагнетикларнинг алоҳида хоссаларини айтинг. 15. Ферромагнетиклар магнитланиши ташқи майдонга боғлиқми? 16. Магнитланишнинг тўйиниш қиймати деб қандай ҳолатга айтилади? 17. Доменлар назариясини нимани тушунтириш мақсадида киритилган? 18. Доменлар деб нимага айтилади? 19. Ташқи майдон доменларга қандай таъсир кўрсатади? 20. Ферромагнетикларга мисоллар келтиринг. 21. Кюри нуқтаси деб қандай ҳароратга айтилади? 22. Кюри нуқтасига мисоллар келтиринг. 23. Гистерезис ҳодисаси деб қандай чизиққа айтилади? 24. Коэрцитив кучлар деб қандай кучларга айтилади? 25. Гистерезис сиртмоғи барча ферромагнетиклар учун бир хилми? 26. Гистерезис сиртмоғининг юзаси нимани кўрсатади?

104- §. Ахборотларни магнит усулида ёзиш. ЭҲМнинг магнит хотираси. Магнит дисклари ва уларнинг қўлланиши

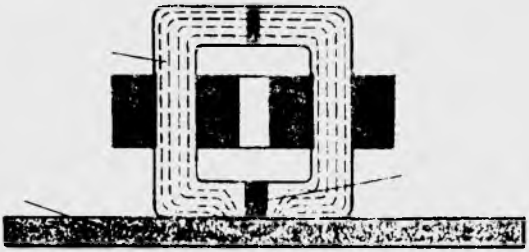
Мазмуни: ахборотларни магнит усулида ёзиш; ЭҲМ нинг магнит хотираси; магнит дисклари ва уларнинг қўлланилиши.

Ахборотларни магнит усулида ёзиш. Маълумотларни сақлаш ва узатиш муҳим аҳамиятга эгадир. Айниқса товушни ва тасвирни ёзиб олиш, сўнгра эса қайта эшитиш ва кўриш бугунги турмуш тарзимизнинг ажралмас бир қисми бўлиб қолган. Буларнинг ҳаммаси қандай қилиб амалга оширилади. Ёзиб олиш магнит лентаси ёки дискларидаги магнит таёқчаларининг ташқи майдон таъсирида маълум тартибда жойлашиб қолишига асосланган. Эшитиш, кўриш ёки ўқиш учун эса улар яна қайтаган махсус воситага таъсир кўрсатади ва ўша магнит таёқчаларининг жойлашувига хос бўлган сигналлар қайта ишланади. Бу жараённи яхшироқ тасаввур қилиш мақсадида магнитофоннинг принципиал схемаси ва ишлаш принципини кўриб чиқамиз (173-расм). Ёзишда товуш тўлқинлари микрофонда электр тебранишларига айлантирилади ва керакли даражагача кучайтирилиб ёзиш каллаги (ЁК) дейилувчи электромагнитга узатилади. Электромагнитдан (ЁК дан) ўтган ток унинг атрофида товуш тўлқинларига хос бўлган магнит майдонини ҳосил қилади. Бу магнит майдони эса ЁК ёнидан ўтаётган магнит лентасидаги магнит таёқчаларини маълум йўналишда жойлаштириб қўяди. Бу жараён 174-расмда кўрсатилган. Магнитофон двигатели ёрдамида ҳаракатланаётган магнит лентаси электромагнит ёнидан ўтмоқда.

Товушни қайта эшиттиришда тескари жараён юз беради: магнитланган лента эшиттирувчи каллак (ЭК) ёнидан ўтиб, унда электр сигналларини ҳосил қилади. Улар эса кучайтирилиб, товуш тўлқинларига айлантирилади ва эшиттирилади.



173- расм.



174- расм.

Магнит лентаси полихлорвинил ёки бошқа моддалардан ишланган юмшоқ асосдан иборат. Унга магнитланадиган ип қатлами суркалади. Бу қатлам ферромагнит моддалардан жуда майда нинначалар (магнит таёқчалари) тарзида ишланган зарралардан ва уларни боғловчи моддадан иборат бўлади.

Маълумотларни ёзишнинг барча усуллари юқорида баён қилинган принципга асосан ишлайди. Фақатгина қўйилган мақсадга ва фан ютуқларининг қайси даражадаги ютуқларидан фойдаланишига қараб уларнинг сифати, имкониятлари ҳам турлича бўлади.

ЭҲМнинг магнит хотираси. Дастлабки авлод электрон ҳисоблаш машиналари (ЭҲМ) нинг хотираси ҳам худди магнитофонникига ўхшаш магнит ленталаридан иборат бўлган. Лекин бу усулда керакли маълумотни топишга кўп вақт сарфланиши, лентали кассеталарнинг катта ҳажмга ва кичик хотирага эгалиги, улардаги маълумотларни дахлсиз сақлаш анча қийинлиги туфайли маълумот сақлашнинг янги усулларини излаш зарурати тугилди. Ҳозир ЭҲМнинг хотираси сифатида магнит дискларидан фойдаланилади. Одатда компьютерларнинг ишчи хотираси икки қисмдан иборат бўлади. Биринчи қисм бевосита ишлаш учун фойдаланилса, иккинчи қисм хотира вазифасини ўтайди. Дастлабки компьютерларнинг ишчи хотираси 1 Мбайт бўлган. (Байт - ахборот ўлчами:1 кбайт 1024 байтга, 1 Мбайт 1024 кбайтга тенг). Ҳозирги пайтда мураккаб ишлар учун 64 МБ, 128 МБ ва ундан ҳам каттароқ хотираларга эга компьютерлардан фойдаланилади.

Магнит дисклари ва уларнинг қўлланилиши. Магнит дисклари-дан компьютерларнинг ички хотираси сифатида фойдаланишдан ташқари, маълумотларни бир компьютердан иккинчисига ўтказиш ва маълумотларни сақлаш учун ҳам фойдаланилади. У гўёки компьютернинг қўшимча хотираси сифатида ҳам хизмат қилади. Асосан 5,25 ва 3,5 дюймли дисклардан фойдаланилади. 5.25 (133) дюймли дискеталар махсус ўқиш қурилмасида ўқилади ва шунинг учун кенг тарқалмаган. Ҳозирги пайтда 3,5 дюймли (89 мм) дискеталар кенг тарқалган бўлиб, уларнинг ҳажми 0.72, 1.44, 2 ва 2.88 Мбайт бўлади. 360 Кбайтли диск 2 интервалда босилган 200 бетли маълумотни сақлаши мумкин.

Программаларнинг кундан-кунга мураккаблашиши ва ҳажми ошиши билан уларни сақлаш учун махсус дискларни яратиш зарурати туғилди. Шунинг учун ҳам лазерли СД-ROM дисклари яратилди. Ҳозирги пайтда энг кўп қўлланиладиган дисклар 2,5 дюймли ва ҳажми 1 Гбайт бўлган дисклардир.

Синов саволлари

1. Товуш ва тасвирни ёзиб олишнинг нима аҳамияти бор? 2. Товуш ва тасвир нимада ёзиб олинади?. 3. Магнит ленталари ёки дисклари қандай тузилган? 4. Ташқи майдон магнит таёқчаларига қандай таъсир кўрсатади? 5. Ўқиш жараёни қандай кечади? 6. Магнитофоннинг иш принципини тушунтиринг. 7. Электромагнетиклнинг вазифаси нимадан иборат? 8. Ёзувчи каллакда қандай жараён рўй беради? 9. Эшиттирувчи каллакда-чи? 10. Дастлабки ЭҲМ нинг хотиралари қандай бўлган? 11. Магнит лентасидан хотира сифатида фойдаланишнинг қандай ноқулайликлари мавжуд? 12. Ҳозирги ЭҲМ нинг хотиралари нималардан иборат? 13. Ҳозирги пайтда қандай хотирали компьютерлардан фойдаланилади? 14. Магнит дисклари нима учун керак? 15. Замонавий дисклариниг хотираси қанча?

Масала ечиш намуналари

1-масала. Иккита чексиз узун, тўғри, параллел ўтказгичлардан қарама-қарши йўналишларда 50 А ва 100 А токлар оқади. Агар ўтказгичлар орасидаги масофа 20 см бўлса, биринчисидан 25 см, иккинчисидан 40 см масофада жойлашган нуқтадаги магнит майдон индукцияси аниқлансин.

Берилган:

$I_1 = 50$ А;

$I_2 = 100$ А;

$d = 20$ см $= 0{,}2$ м;

$r_1 = 25$ см $= 0{,}25$ м;

Ечиш: A нуқтадаги магнит майдон индукцияси $\vec{B}$, суперпозиция принципига мувофиқ I_1 ва I_2 токлар ҳосил қилаётган $\vec{B}_1$ ва $\vec{B}_2$ векторларнинг йиғиндисига тенг. (175 -расм).

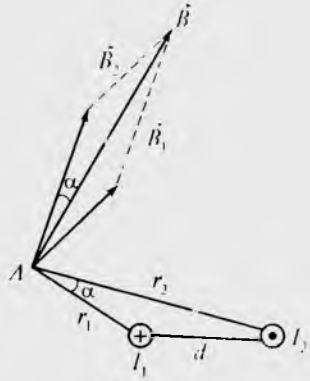
$r_2 = 40$ см $= 0{,}4$ м.

$B = ?$

$$B = \vec{B}_1 + \vec{B}_2$$

Ёки $\vec{B}$ нинг модули учун

$$B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2 - 2B_1B_2 \cdot \cos\alpha}$$



175- расм.

Бу ерда $B_1 = \frac{\mu_0\mu}{2\pi}\frac{I_1}{I_2}$, ва $B_2 = \frac{\mu_0\mu}{2\pi}\frac{I_2}{I_2}$

α — бурчакни эса косинуслар теоремаси

$$d^2 = r_1^2 + r_2^2 - 2r_1r_2\cos\alpha$$

дан топамиз

$$\cos\alpha = \frac{1}{2r_1r_2}\left(r_1^2 + r_2^2 - d^2\right)$$

Топилганлар асосида В ни қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин:

$$B = \frac{\beta\mu_0\mu}{2\pi}\sqrt{\frac{I_1^2}{r_1^2} + \frac{I_2^2}{r_2^2} - \frac{I_1I_2}{r_1^2 \cdot r_2^2}\left(r_1^2 + r_2^2 - d^2\right)}$$

Катталикларнинг қийматлари ёрдамида ($\mu = 1$) ни топамиз.

$$B = \frac{4 \cdot 3{,}14 \cdot 10^{-7}}{2 \cdot 3{,}14}\sqrt{\left(\frac{50}{0{,}25}\right)^2 + \left(\frac{100}{0{,}4}\right)^2 - \frac{50 \cdot 100}{(2{,}25)^2 \cdot (0{,}4)^2}\left[(0{,}25)^2 + (0{,}4)^2 - (0{,}2)^2\right]} =$$

$$= 21{,}2 \cdot 10^{-6}\ \text{Тл} = 21{,}2\ \text{мкТл}$$

Жавоб: $B = 21{,}2$ мкТл

2 - масала. Индукцияси 0,2 Тл бўлган магнит майдондаги электроннинг айланма орбита бўйлаб айланиш частотаси аниқланисин.

Берилган:

$B = 0{,}2$ Тл;

$n = ?$

Ечиш: электроннинг айланма орбита бўйлаб айланиш частотаси қуйидагича аниқланади.

$$n = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{v}{2\pi R}.$$

Электроннинг ўзгармас частота билан ҳаракат тезлигини топиш учун унга таъсир этувчи кучларнинг тенглигидан фойдаланамиз. Магнит майдонида ҳаракатланаётган электронга

$$F_L = q_e \cdot v \cdot B \cdot \sin\alpha$$

Лоренц кучи ва айланма ҳаракат қилаётганлиги учун

$$F_{м.к} = \frac{m_e v^2}{R}.$$

кучлар таъсир қилади. Шартга биноан $F_л = F_{м.к.}$, яъни

$$q_e \cdot v \cdot B \cdot \sin\alpha = \frac{m_e v^2}{R}.$$

Агар мазкур ҳолда $\alpha = \frac{\pi}{2}$, $\sin\alpha = 1$ лигини эътиборга олсак ва электроннинг тезлигини топсак:

$$v = \frac{q_e \cdot B \cdot R}{m_e}$$

Тезликнинг бу ифодасидан фойдаланиб, электроннинг айланиш частотаси учун топамиз:

$$n = \frac{q_e \cdot B}{2\pi \cdot m_e}$$

Катталикларнинг қийматларини қўйиб ($q_e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл; $m_e = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ кг), қуйидагини топамиз:

$$n = \frac{1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 0{,}2}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 9{,}1 \cdot 10^{-31}} \text{ Гц} = 5{,}6 \cdot 10^9 \text{ Гц}.$$

Жавоб: $n = 5{,}6 \cdot 10^9$ Гц.

Мустақил ечиш учун масалалар

1. Майдоннинг вакуумдаги магнит индукцияси 10 мТл бўлса, магнит майдон кучланганлиги аниқлансин. (H = 7,96 кА/м).
2. 10 А ток оқаётган ингичка ҳалқа марказидаги магнит индукцияси топилсин. Ҳалқанинг радиуси 5 см. (B = 126 мкТл).
3. Электрон, 0,02 Тл индукцияли магнит майдонида 10 см радиусли айлана бўйлаб ҳаракатланмоқда. Электроннинг кинетик энергияси аниқлансин. ($E_к$ = 6,35 мэВ).
4. Узунлиги 8 см бўлган ўтказгичдан 50 А ток оқмоқда. У магнит индукцияси 20 мТл бўлган бир жинсли магнит майдонда турибди. Ўтказгич, майдон куч чизиқларига перпендикуляр равишда 10 см силжиганда бажарилган ишни топинг. (A = 8 мЖ)

XVI БОБ. ЭЛЕКТРОМАГНИТ ИНДУКЦИЯ

М.Фарадей
(1791 – 1867)

Олдинги бобда, электр токи ўз атрофида магнит майдон ҳосил қилишини ўргандик. Агар шундай экан, унинг тескариси, яъни магнит майдони электр токини вужудга келтира олмайдими, деган савол туғилади. Олимлар узоқ вақт бу саволга жавоб излашган ва ниҳоят, 1831 йилда инглиз физиги М.Фарадей магнит майдон ёрдамида электр токи вужудга келишини тажрибалар ёрдамида кўрсатди. Бу ҳодисага электромагнит индукция ҳодисаси, вужудга келган токка эса индукцион ток дейилади.

Электромагнит индукция ҳодисасининг кашф қилиниши улкан аҳамият касб этиб, магнит майдон ёрдамида электр токи ҳосил қилиш мумкинлигини исботлади. Бу билан электр ва магнит ҳодисалари ўртасида ўзаро боғланиш мавжудлиги кўрсатилиб, электромагнит майдон назарияси яратилишига туртки бўлди.

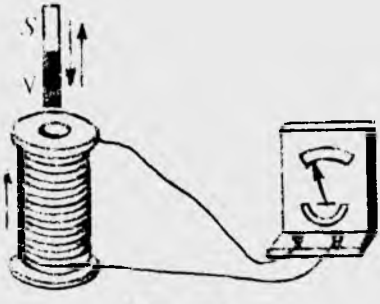
105- §. Электромагнит индукция ҳодисаси. Фарадей тажрибалари

М а з м у н и : электромагнит индукция ҳодисаси, Фарадей тажрибалари, Фарадей қонуни, Ленц қоидаси, индукция ЭЮКининг табиати.

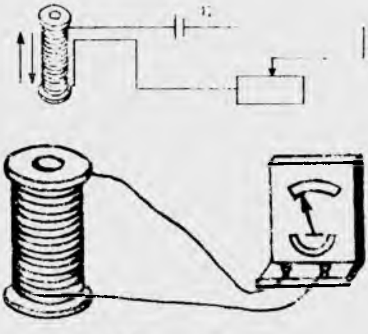
Электромагнит индукция ҳодисаси. Электромагнит индукция ҳодисасининг асосий ғояси қуйидагилардан иборат: **ёпиқ контурни ўраб турган магнит майдон индукциясининг оқими ўзгарса, контурда электр токи вужудга келади.** Бу токка индукцион ток дейилади.

Фарадей тажрибалари. Агар гальванометрга уланган соленоиднинг ичига ўзгармас магнит киритиб чиқарилса, у кираётган ва чиқаётган пайтда гальванометр стрелкасининг оғиши, яъни индукцион токнинг вужудга келиши кузатилади (176-расм). Магнит қанча тез ҳаракатланса, гальванометр стрелкасининг оғиши ҳам шунча катта бўлади. Агар магнитнинг қутблари алмаштирилиб ҳаракатлантирилса, стрелканинг оғиши ҳам тескари томонга ўзгаради. Тажриба магнитни маҳкамлаб, ғалтакни эса ҳаракатга келтириб бажарилганда ҳам гальванометр индукцион ток ҳосил бўлишини кўрсатади (177-расм).

Фарадей қонуни. Фарадей ўзининг кўплаб тажрибалари асосида контур эргаштирувчи магнит индукция оқимининг ўзгариши албатта индукцион токни вужудга келтиради, деган хулосага келди.



176- расм.



177- расм.

Индукцион токнинг қиймати эса магнит индукция оқимининг ўзгариш усулига эмас, балки унинг ўзгариш тезлигига боғлиқдир. Агар занжирда индукцион ток вужудга келса, демак, бу электр юритувчи куч мавжудлигини кўрсатади. Бу ЭЮК га индукция электр юритувчи кучи дейилади. Тажриба натижаларини таҳлил қилган Фарадей индукция ЭЮК ва магнит оқимининг ўзгариши орасидаги муносабатни аниқлади. **Электромагнит индукция учун Фарадей қонуни: ёпиқ ўтказувчи контур ўраб турган магнит индукция оқимининг ўзгариш сабаби қандай бўлишидан қатъи назар вужудга келадиган ЭЮК** қуйидагича аниқланади:

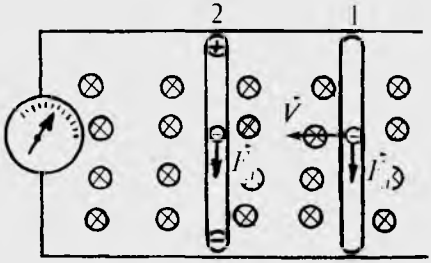
$$\mathcal{E}_i = -\frac{d\Phi}{dt}. \qquad (1[illegible]5.1)$$

Тенгликдаги манфий ишора қуйидагиларни кўрсатади: ин[illegible]дукция оқимининг ортиши $\frac{d\Phi}{dt} > 0$, $\mathcal{E}_i < 0$ ЭЮК ни вужудга келтиради, яъни [illegible] майдони контур орқали [illegible] Индукция оқими- нинг [illegible] магнит майдони контур [illegible] тўсқинлик қилади.

Ленц қоидаси. [illegible] 1833 йилда рус физиги Э. Ленц [illegible] яратилган индукцион токнинг йўналишини [illegible] берувчи қоиданинг математик ифодасидир.

Ленц қоидаси: контурда вужудга келадиган индукцион ток шундай йўналишга эгаки, унинг магнит майдони, шу индукцион токни вужудга келтирган магнит оқимининг ўзгаришига тўсқинлик қилади. Ленц қоидасидан фойдаланиб, Фарадей қонунини қуйидагича ёзиш мумкин: контурда вужудга келадиган индукцион электр юритувчи куч — контур ўраб турган сирт орқали ўтадиган магнит оқимининг ўзгариш тезлигига миқдоран тенг, ишораси эса қарама-қаршидир.

Индукция ЭЮК магнит оқимининг ўзгариш усулига боғлиқ эмас.



178- расм.

Индукция ЭЮК ининг табиати. Энди ЭЮК нинг вужудга келиш табиати билан қизиқайлик. Бунинг учун 178-расмда кўрсатилгандек, тажрибани ўтказамиз. Бир қисми ҳаракатга келиши мумкин бўлган контур магнит майдонга киритилган. Бир жинсли магнит майдон индукция вектори биздан расм текислигига қараб перпендикуляр йўналган бўлсин. Ҳаракатланувчи қисм ичидаги электронларга Лоренц кучи таъсир этади. Ҳаракатланувчи қисмнинг ўрни 1 дан 2 га ўзгарганда, контур ўраб турган магнит оқими ҳам ўзгаради. Ҳаракатланувчи қисм ичидаги электронларга таъсир қилган Лоренц кучи уларни ҳаракатга келтириб, индукция ЭЮК ни вужудга келтиради.

Электромагнит индукция учун Фарадей қонунига мувофиқ, ҳаракатсиз контур ўзгарувчан магнит майдонда турганида ҳам ЭЮК индукцияланиши мумкин. Лекин бу ҳолда уни Лоренц кучи вужудга келтирган дея олмаймиз. Чунки Лоренц кучи ҳаракатсиз электронларга таъсир этмайди. Бу муаммони ҳал қилиш учун Максвелл магнит майдоннинг ҳар қандай ўзгариши атрофда электр майдонни ва бу электр майдон эса индукция электр юритувчи кучини вужудга келтиради деб тушунтирди. Чунки электр майдон ҳаракатсиз электронларга ҳам таъсир қилади.

Электромагнит индукция ЭЮК вольтларда ифодаланади.

Синов саволлари

1. Электромагнит индукция ҳодисаси нима мақсадда ишланган? 2. Электромагнит индукция ҳодисаси деб қандай ҳодисага айтилади? 3. Индукцион ток деб қандай токка айтилади? 4.Ўзгармас магнит галтакка кириб-чиққанда гальванометрнинг кўрсатиши ўзгарадими? 5. Ўзгармас магнит тинч туриб, галтак ҳаракатланганда-чи? 6. Гальванометр стрелкасининг оғиши нимага боғлиқ? 7. Магнитнинг қутблари ўзгартирилса, стрелканинг оғиши ўзгарадими? 8. Фарадей тажрибаларини тушунтиринг. 9. Фарадей хулосаси. 10. Индукцион токнинг қиймати нимага боғлиқ? 11. Индукция ЭЮК деб қандай ЭЮК га айтилади? 12. Электромагнит индукция учун Фарадей қонуни. 13. Магнит индукция оқимининг ўзгариши индукция ЭЮК ининг ишорасига қандай таъсир кўрсатади? 14. Ленц қоидаси. 15. Индукция ЭЮК ининг қиймати магнит оқимининг ўзгариш усулига боғлиқми? 16. Индукция ЭЮК ининг вужудга келиш табиати? 17. Ҳаракатланувчи ўтказгич ичидаги электронларни қандай куч ҳаракатга келтиради? 18. Ҳаракатсиз ўтказгич ичидаги электронларга ҳам Лоренц кучи таъсир қиладими? 19. Максвеллнинг фикрича, магнит майдоннинг ўзгариши қандай майдонни вужудга келтиради? 20. Электромагнит индукция ҳодисасининг аҳамияти.

106- §. Уюрмали электр майдони. Уюрмали токлар

Мазмуни: уюрмали электр майдони; уюрмали токлар.

Уюрмали электр майдони. Олдинги мавзуда таъкидланганидек, магнит майдонининг ўзгариши электр майдонини вужудга келтиради. Бундай электр майдонининг куч чизиқлари бирор заряддан бошланиб, бошқасида тугамайди. Яъни худди магнит майдони куч чизиқлари каби уларнинг бошланиш ва туган жойлари йўқ.

Демак, магнит майдонининг ўзгариши натижасида вужудга келган электр майдонининг куч чизиқлари ёпиқ чизиқ, бундай электр майдони эса уюрмали характерга эгадир.

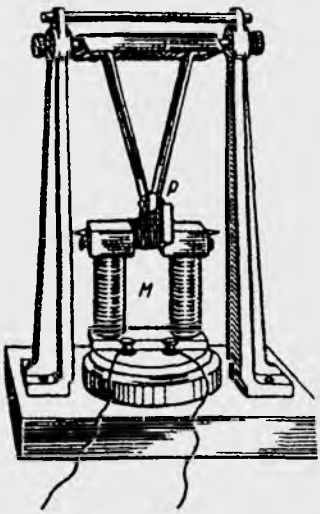
Шундай қилиб, ўзгарувчи электр майдонида ҳаракатсиз турган ўтказгичдаги электронларни уюрмали электр майдони ҳаракатга келтирар экан. Борди-ю ўтказгич бўлмаганда уюрмали электр майдони вужудга келармиди? Албатта. Магнит майдонининг ҳар қандай ўзгариши уюрмали электр майдонини вужудга келтиради. Бизнинг ҳолимиздаги ҳаракатсиз ўтказгич эса бу майдоннинг вужудга келганини тасдиқловчи восита бўлиб хизмат қилади, холос.

Электростатик майдондан фарқли ўлароқ, уюрмали электр майдони потенциал майдон эмас, яъни бирлик мусбат зарядни ёпиқ контур бўйлаб кўчиришда бажарилган иш нолга тенг бўлмай, индукция ЭЮК га тенг бўлади.

Уюрмали токлар. Индукцион ток нафақат чизиқли ўтказгичларда, балки ўзгарувчан магнит майдонида турган оғир яхлит ўтказгичларда ҳам вужудга келади. Бу токлар қалин ўтказгичлар ичида ёпиқ характерга эга бўлгани учун ҳам уларга уюрмали токлар дейилади. Бу токларни баъзан дастлабки ўрганган киши номи билан Фуко токлари ҳам дейишади. Ҳар қандай индукция қилган ток каби, уюрмали токларнинг йўналиши ҳам Ленц қоидасига мувофиқ аниқланади, яъни ҳосил бўлган уюрмали токнинг йўналиши шундай бўладики, унинг магнит майдони ўзини вужудга келтирган магнит оқимининг ўзаришига тўсқинлик қилади.

Қаршилиги жуда кичик бўлган яхлит оғир маятник кучли электромагнит майдонда ҳаракатланаётган бўлсин (179-расм). Дастлаб, электромагнит уланмаганда, маятник анча узоқ вақт тебраниб туради. Электромагнит манбага уланганидан сўнг эса маятник электромагнитгача бориб кескин тормозланади ва тўхтайди. Бунга сабаб маятникда ток индукцияланишидир. Чунки Ленц қоидасига мувофиқ бу токнинг магнит майдони маятникнинг ҳаракатига тўсқинлик қилади. Агар маятникда кесиклар қилинса, уюрмали токлар камаяди ва маятник унча кучли тормозланмайди.

Уюрмали токнинг кучи магнит майдонида ҳаракатланадиган металл бўлагининг шакли, у ясалган материалнинг хоссалари, магнит оқимининг ўзгариш тезлигига боғлиқ бўлади.



179- расм.

Уюрмали токларнинг тормозловчи таъсиридан электр ўлчов асбоблари стрелкалари тебранишини сўндиришда фойдаланилади.

Уюрмали токлар, шунингдек, ўзгарувчан магнит майдонида турган ҳаракатсиз яхлит ўтказгичларда ҳам вужудга келади ва уларни кучли қиздиради. Унинг бу хусусиятидан индукцион печларни қиздиришда ва ҳаттоки металларни эритишда ҳам фойдаланилади.

Ўз навбатида бу токнинг зарарли таъсирларини (энергиянинг беҳуда қизишга сарфланишини) камайтириш мақсадида, генераторларнинг якорлари ва трансформаторларнинг ўзаклари яхлит металл эмас, балки бир-бирларидан изолятор билан ажратилган юпқа пластинкалардан ясалади.

Синов саволлари

1. Магнит майдонининг ўзгариши натижасида вужудга келган электр майдон куч чизиқлари қаердан бошланиб, қаерда тугайди? 2. Бундай майдон куч чизиқлари қандай характерга эга? 3. Бундай электр майдоннинг ўзи-чи? 4. Ҳаракатсиз ўтказгич бўлмаганда ҳам уюрмали электр майдони бўлармиди? 5. Уюрмали электр майдони потенциал майдонми? 6. Бундай майдонда бирлик мусбат зарядни кўчиришда бажарилган иш нимага тенг бўлади? 7. Индукцион ток яхлит ўтказгичларда ҳам вужудга келадими? 8. Уюрмали токлар деб қандай токларга айтилади? 9. Нима учун бу токларга Фуко токлари дейилади? 10. Уюрмали токларнинг йўналиши қандай бўлади? 11. Магнит майдонида ҳаракатланаётган магнитнинг тебранишига нима тўсқинлик қилади? 12. Уюрмали токнинг кучи нималарга боғлиқ бўлади? 13. Уюрмали токлардан фойдаланиладими? 14. Уюрмали токларнинг зарарли томонлари борми? 15. Уюрмали токнинг зарарини камайтириш учун қандай чоралар кўрилади?

107- §. Контурнинг индуктивлиги. Ўзиндукция. Ўзаро индукция

Мазмуни: индуктивлик, индуктивликнинг бирлиги, ғалтакнинг индуктивлиги, ўзиндукция, ўзаро индукция.

Индуктивлик. Ўтказувчи контурдан (электр занжиридан) оқаётган ток контур атрофида магнит майдони ҳосил қилади ва бу майдоннинг магнит оқими Φ ток кучи I га пропорционалдир. Яъни

$$\Phi = LI. \qquad (107.1)$$

Бу ерда L — пропорционаллик коэффициенти бўлиб, *контурнинг индуктивлиги* дейилади. Индуктивлик (лотинча — inductio уйғотмоқ) фақатгина контурни характерловчи катталик бўлиб, унинг магнит майдони вужудга келтира олиш қобилиятини кўрсатади ва оқаётган ток кучига мутлақо боғлиқ эмас. Индуктивлик шу маънода яккаланган ўтказгичнинг электр сиғимига ўхшаб кетади. Агар ўтказгичнинг электр сиғими унинг қанча электр зарядини ўзида мужассамлаштириш қобилиятини характерласа, индуктивлик контурдан ток оққанда, унинг магнит майдони ҳосил қила олиш қобилиятини характерлайди.

Индуктивликнинг бирлиги. Индуктивликнинг СИ даги бирлиги — генри (Гн) бўлиб, америкалик физик Г. Генри (1797 — 1878) шарафига шундай номланган. (107.1) ифодадан индуктивликни аниқлаб оламиз:

$$L = \frac{\Phi}{I}, \qquad (107.2)$$

$$[L] = \frac{[\Phi]}{[I]} = \frac{1\,\text{Вб}}{1\,\text{А}} = 1\ \text{Гн}.$$

1 Гн шундай контурнинг индуктивлигики, ундан 1 А ток оққанда ҳосил бўлган магнит оқими 1 Вб га тенг бўлади.

Ғалтакнинг индуктивлиги. Юқорида таъкидланганидек, индуктивлик контурнинг геометрик шакли ва ўлчамларига боғлиқдир. Жумладан, узунлиги l, кўндаланг кесим юзаси S бўлган бушлиқда турган соленоиднинг индуктивлиги қуйидагича тенг:

$$L_0 = \frac{\mu_0 N^2 S}{l}. \qquad (107.3)$$

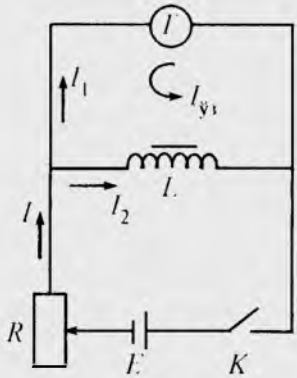
Бу ерда N — соленоиддаги ўрамларнинг тўла сони, μ_0 — магнит доимийси. Агар соленоиднинг ҳажми $V = lS$ эканлигини эътиборга олсак ва $n = \frac{N}{l}$ узунлик бирлигига тўғри келувчи ўрамлар сони тушунчасини киритсак, соленоиднинг индуктивлигини қуйидагича ёзиш мумкин.

$$L_0 = \mu_0 n^2 V. \qquad (107.4)$$

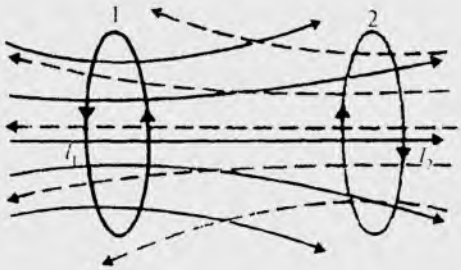
Агар соленоидга темир ўзак киритсак, унинг индуктивлиги бир неча марта ортади.

Контурнинг бир жинсли муҳитдаги индуктивлиги L нинг, контурнинг вакуумдаги индуктивлиги L_0 га нисбати билан аниқланадиган катталикка муҳитнинг магнит сингдирувчанлиги дейилади.

$$\mu = \frac{L}{L_0}. \qquad (107.5)$$



180- расм.



181- расм.

Бизга маълумки, моддаларнинг магнит хусусиятларини характерловчи катталик — магнит сингдирувчанлик ўлчамсиз катталикдир.

Ўзиндукция. Батарея E, реостат R, индуктивлик ғалтаги L, гальванометр $Г$ ва калит K дан иборат занжирни қарайлик (180-расм).

Агар занжир ёпиқ бўлса, гальванометрдан ва индуктив ғалтакдан электр токи оқади. Занжирни узган пайтимизда гальванометр стрелкаси тескари томонга қараб кескин оғади. Бунга сабаб, занжир узилганда ғалтакдаги магнит оқими камаяди ва унда ўзиндукция ЭЮК ни вужудга келтиради. Ленц қоидасига мувофиқ ўзиндукция ЭЮК магнит оқимининг камайишига хизмат қилади, яъни унинг йўналиши камаяётган ток I_2 нинг йўналиши билан мос келади. Бу ток гальванометрдан ўтади ва унинг йўналиши I_1 токнинг йўналишига қарама-қарши бўлганлиги учун, табиийки гальванометр стрелкаси тескари томонга оғади. **Занжирдаги токнинг ўзгариши натижасида шу занжирнинг ўзида индукцияланган ЭЮК нинг вужудга келишига ўзиндукция ҳодисаси дейилади.**

Ўзиндукция ҳодисаси электромагнит индукция ҳодисасининг хусусий ҳолидир, яъни контурдаги хусусий магнит оқимининг ўзгариши натижасида ўзиндукция ЭЮК вужудга келади.

$$\mathcal{E}_{ўз} = -\frac{d\Phi}{dt}. \qquad (107.6)$$

Агар (107.1) ни ҳисобга олсак ва индуктивлик L ни дифференциал белгисидан ташқарига чиқарсак,

$$\mathcal{E}_{ўз} = -L\frac{dI}{dt} \qquad (107.7)$$

ни ҳосил қиламиз. Ушбу ифодадан кўриниб турибдики, ўзиндукция ЭЮК занжирдаги токнинг ўзгариш тезлигига пропорционал экан.

Ўзаро индукция. Агар ғалтак *2* ўзгарувчи ток оқаётган ғалтак *1* ёнига келтирилса, унда ғалтак *2* да индукцияланган ЭЮК вужудга келади (181-расм). Бунга сабаб ғалтак *1* дан ўзгарувчан ток оқиши

натижасида ҳосил бўлган ўзгарувчан магнит майдонининг уюрмали электр майдони вужудга келтириши ва бу майдон ўз навбатида иккинчи ғалтакда индукция ЭЮК ни ҳосил қилишидир. Натижада иккинчи ғалтакда ҳосил бўлган индукция ЭЮК

$$\mathcal{E}_{21} = -\frac{d\Phi_{21}}{dt}, \qquad (107.8)$$

Бу ерда Φ_{21} — I_1 ток оқаётган биринчи ғалтак атрофида ҳосил бўлган магнит майдонининг иккинчи ғалтакка сингган қисми. У ток кучи I_1 га пропорционал:

$$\Phi_{21} = L_{21} I_1. \qquad (107.9)$$

Бу ерда L_{21} — ўзаро индукция коэффициенти.

Худди шунингдек, иккинчи ғалтакдан ўзгарувчан ток ўтганда биринчи ғалтакда

$$\mathcal{E}_{21} = -\frac{d\Phi_{12}}{dt} \qquad (107.10)$$

ўзаро индукция ЭЮК вужудга келади.

$$\Phi_{12} = L_{12} I_1, \qquad (107.11)$$

ҳисоблашлар

$$L_{21} = L_{12} \qquad (107.12)$$

эканлигини кўрсатади ва уларга контурларнинг *ўзаро индуктивлиги* дейилади.

Бир контурдаги ток кучининг ўзгариши натижасида иккинчи контурда ЭЮК нинг вужудга келишига ўзаро индукция ҳодисаси дейилади.

Агар контурлар N_1 ва N_2 ўрамлари мавжуд ғалтаклардан иборат бўлса (182- расм), унда ўзаро индуктивлик қуйи ғалтача аниқланади:

$$L_{21} = L_{12} = \mu_0 \mu \frac{N_1 N_2}{l} S.$$

Синов саволлари

1. Ўтказгич атрофидаги магнит майдонини оқими нимага тенг? 2. Индуктивлик нима? 3. Индуктивлик сўзи нимани англатади? 4. Индуктивлик контурдан оқаётган ток кучига боғлиқми? 5. Индуктивлик контурнинг қандай қобилиятини характерлайди? 6. Индуктивликнинг СИ даги бирлиги ва у қандай индуктивлик? 7. Индуктивлик контурнинг ўлчамига ва шаклига боғлиқми? 8. Соленоиднинг бўшлиқдаги индуктивлиги. 9. Муҳитнинг магнит сингдирувчанлиги нимани кўрсатади? 10. Ўзиндукция деб қандай ҳодисага айтилади? 11. Ўзиндукция ЭЮК нимага тенг? 12. Ўзиндукция ҳодисасини қандай кузатиш мумкин? 13. Ўзиндукция ЭЮК қандай вужудга келади? 14. Ўзаро индукция деб қандай ҳодисага айтилади? 15. Иккинчи контурда ЭЮК қанлай вужудга келади? 16. Ўзиндукция ЭЮК нимага тенг? 17. Контурларнинг ўзаро индуктивлиги нимага тенг?

103- §. Трансформаторлар

Мазмуни: трансформатор нима учун керак? Трансформатор нинг тузилиши; трансформаторнинг иш принципи; трансформация коэффициенти.

Трансформатор нима учун керак? Одатда, электр энергиясини электростанциядан истеъмолчиларга узатиш керак бўлади. Бир неча юзлаб километр масофаларга электр энергиясини узатишда энергиянинг беҳудага сарфланишини камайтириш муҳим аҳамиятга эга. Бунда энергиянинг анчагина қисми бефойда иссиқлик ва магнит майдон энергиясига айланиб кетиши мумкин. Ҳар иккала энергия ҳам ток кучининг квадратига пропорционалдир. Айнан шунинг учун ҳам узоқ масофаларга узатилаётган электр токининг кучи камайтирилиб, кучланиши ортирилади.

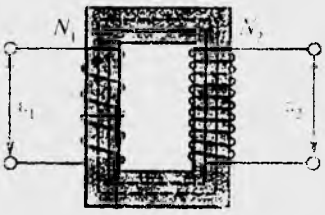
Бунда электр токининг энергияси ўзгармайди. Истеъмолчига етиб келган токнинг кучи ва кучланиши эса зарурлигидан келиб чиқиб яна ўзгартирилади. **Ток кучи ва кучланишнинг қийматларини ўзгартириш трансформатор деб аталувчи қурилма воситасида амалга оширилади.**

Ўзгарувчан ток кучланишини ортириш ёки камайтириш мақсадида ишлатиладиган трансформаторнинг иш принципи ўзаро индукция ҳодисасига асосланган.

Трансформаторнинг тузилиши. Трансформаторлар биринчи бўлиб рус олимлари П. Яблочков (1847 — 1894) ва И. Усагиньер (1855 — 1919) томонидан яратилган ва амалда қўлланилган. Трансформаторнинг принципиал схемаси 182-расмда кўрсатилган бўлиб, темир ўзакка маҳкамланган N_1 ва N_2 ўрам сонига эга чулғамлардан иборат.

Биринчи чулғамнинг учлари $\mathcal{E}_1$ ЭЮК ли ўзгарувчан ток манбаига уланган бўлиб, ундан ўзгарувчан I_1 ток оқади ва трансформатор ўзагида ўзгарувчан магнит оқими Φ ни вужудга келтиради. Бу оқимнинг ўзгариши иккинчи чулғамда ўзаро индукция ЭЮК ни вужудга келтиради.

Трансформаторнинг ишлаши. Биринчи чулғам учун Ом қонуни қуйидаги кўринишга эга бўлади:



182- расм.

$$\mathcal{E}_1 = \frac{d}{dt}(N_1\Phi) = I_1 R_1 .$$

Бу ерда R_1 — биринчи чулғамнинг қаршилиги. Тез ўзгарувчан майдонлар учун R_1 қаршиликдаги кучланиш тушиши $I_1 R_1$ бошқа ҳадларга нисбатан жуда кичик бўлганлиги учун уни ҳисобга олмаслик мумкин, яъни

$$\mathcal{E}_2 = N_1 \frac{d\Phi}{dt}. \qquad (108.1)$$

Иккинчи чулгамда пайдо бўлган ўзаро индукция ЭЮК эса

$$\mathcal{E}_1 = -\frac{d(N_2\Phi)}{dt} = -N_2 \frac{d\Phi}{dt}. \qquad (108.2)$$

Ҳар иккала ифодадан ҳам $\frac{d\Phi}{dt}$ ни топсак,

$$\frac{d\Phi}{dt} = \frac{\mathcal{E}_1}{N_1}; \qquad \frac{d\Phi}{dt} = \frac{\mathcal{E}_2}{N_2}$$

ва уларни тенглаштирсак,

$$\mathcal{E}_2 = \frac{N_2}{N_1}\mathcal{E}_1 \qquad (108.3)$$

ни оламиз.

Трансформация коэффициенти. Трансформаторнинг иккинчи чулгамидаги ЭЮК биринчисиникига нисбатан нега марта кўп (ёки кам) экаплигини кўрсатувчи $\frac{N_2}{N_1}$ ўрамлар сонларининг нисбатига трансформация коэффициенти дейилади.

Замонавий трансформаторларда энергиянинг бекорга сарфи нолга яқин фоизларгача бўлган. Бу энергия асосан ферромагнитик ядронинга ва ўтказгичларга кучланишнинг тушишидан келиб чиқади. Агар энергиянинг бекорга сарфланишини ҳисобга олмасак, унда трансформаторнинг иккала чулгамларидаги токларнинг кучлари тенг бўлади, яъни

$$\mathcal{E}_1 I_1 = \mathcal{E}_2 I_2 \qquad (108.4)$$

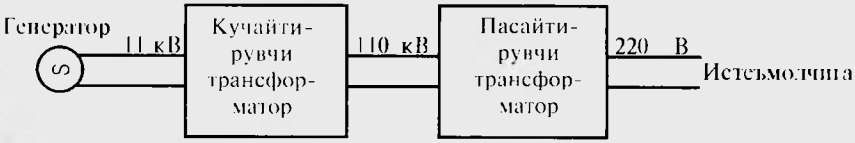
Демак, (108.3) га асосан

$$\frac{\mathcal{E}_2}{\mathcal{E}_1} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}, \qquad (108.5)$$

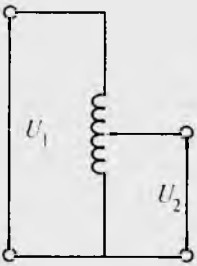
яъни чулгамлардаги ток кучи ўрамлар сонига тескари пропорционалдир.

Агар $\frac{N_2}{N_1} > 1$ бўлса, бундай трансформаторга **кучайтирувчи трансформатор** дейилади. У ўзгарувчи ЭЮК ни оргтириб, ток кучини камайтиради. Бундай трансформаторлар электр энергиясини узоқ масофаларга узатишда ишлатилади.

Агар $\frac{N_2}{N_1} < 1$ бўлса, пасайтирувчи трансформатор бўлади ва ЭЮК пасайтирилиб, ток кучи оргтирилади. Бундай трансформаторлар юқори кучланишли токни қабул қилиб, истеъмолчини таъминлаш учун ишлатилади.



183- расм.



184- расм.

Электр энергиясини узатиш схемаси 183- расмда кўрсатилган.

Трансформаторларнинг ишлатилиши. Биз икки чулгамли трансформаторларнинг иш принципини кўрдик. Умуман олганда, радиотехникада турли кучланишларни ҳосил қилувчи 4 — 5 чулғамли трансформаторлар ҳам мавжуд.

Битта чулғамдан иборат трансформаторларга **автотрансформаторлар** дейилади (184-расм). Бунда чулғамнинг бир қисми иккинчи чулғам вазифасини ўтайди. Трансформаторлар иш давомида қизийди ва шунинг учун уларнинг совитиш системалари бўлади. Совитиш системаси ҳаво билан ҳам, трансформатор ёғи билан ҳам ишлаши мумкин.

Замонавий трансформаторларнинг қуввати 10^9 Вт , ЭЮК эса 750 кВ гача етади. Бундай трансформаторлар жуда улкан бўлиб, вазни юзлаб тоннани ташкил қилади. Уларнинг қуввати 99% гача етиши мумкин.

Синов саволлари

1. Трансформатор нима учун керак? 2. Трансформатор деб қандай қурилмага айтилади? 3. Трансформаторнинг иш принципи нимага асосланган? 4. Трансформатор кимлар томонидан ясалган? 5. Трансформатор қандай тузилган? 6. Трансформаторнинг ишлаш принципи қандай? 7. Чулгамлардаги ЭЮК лар қандай боғланган? 8. Трансформация коэффициенти деб нимага айтилади? 9. Трансформация коэффициенти нимани кўрсатади? 10. Трансформатор чулғамларидаги энергия тенгми? 11. Чулгамлардаги ток кучи ўрамлар сонига боғлиқми? 12 Қандай трансформаторга кучайтирувчи трансформатор дейилади? 13. Кучайтирувчи трансформатор нима мақсадда ишлатилади? 14. Қандай трансформаторга пасайтирувчи трансформатор дейилади? 15. Пасайтирувчи трансформатор нима мақсадда ишлатилади? 16. Электр узатиш схемасини тушунтиринг. 17. Трансформаторлар нечта чулгамдан иборат бўлади? 18. Автотрансформаторлар деб қандай трансформаторларга айтилади? 19. Трансформаторларда беҳудага энергия сарфи мавжудми ва у неча фоизни ташкил қилади? 20. Совитиш системаси нима учун керак? 21. Трансформаторларнинг қуввати қанча бўлиши мумкин?

109- §. Магнит майдон энергияси

Мазмуни: магнит майдон энергияси; энергиянинг ҳажмий зичлиги.

Магнит майдон энергияси. Электр токи оқаётган ўтказгичнинг атрофида доимо магнит майдони мавжуд бўлади. Бу магнит майдони ток билан бирга пайдо бўлади ва бирга йўқолади. Магнит майдони ҳам, худди электр майдони каби энергияга эга. Табиийки, бу энергия уни вужудга келтириши учун бажарилган ишга тенг ва қуйидагича аниқланади:

$$W = \frac{LI^2}{2}. \qquad (109.1)$$

Бу ерда: I — контурдан оқаётган ток кучи, L — контурнинг индуктивлиги.

Шуни таъкидлаш лозимки, магнит майдонининг энергияси фазода мужассамлашган бўлади. Шунинг учун ҳам унга атрофдаги майдонни характерловчи катталикларнинг функциялари сифатида қараш мумкин. Шу мақсадда хусусий ҳол — узун соленоид ичидаги бир жинсли магнит майдонини кўрайлик.

Энергиянинг ҳажмий зичлиги. (109.1) ифодага узунлиги l, кесим юзаси S бўлган соленоид индуктивлигининг $L = \mu_0\mu\frac{N^2}{l}S$ ифодасини қўйсак,

$$W = \frac{1}{2}\mu_0\mu\frac{N^2I^2}{l}S \qquad (109.2)$$

ни ҳосил қиламиз. Шунингдек, соленоид магнит майдон индукциясининг $B = \frac{\mu_0\mu NI}{l}$ ифодасидан $I = \frac{Bl}{\mu_0\mu N}$ ва $B = \mu_0\mu H$ лигини эътиборга олсак,

$$W = \frac{1}{2}\frac{B^2}{\mu_0\mu}V = \frac{B \cdot H}{2}V \qquad (109.3)$$

ни ҳосил қиламиз. Бу ерда $V = l \cdot S$ — соленоиднинг ҳажми. Соленоиднинг магнит майдони бир жинсли ва унинг ичида жамланган бўлиб, ўзгармас ҳажмий зичликка эга:

$$\omega = \frac{W}{V} = \frac{B^2}{2\mu_0\mu} = \frac{\mu_0\mu H^2}{2} = \frac{B \cdot H}{2}. \qquad (109.4)$$

Магнит майдонининг ҳажмий зичлиги учун топилган (109.4) ифода электр майдонининг ҳажмий зичлиги учун топилган ифодага жуда ўхшаш бўлиб, фақатгина электр майдонини характерловчи

катталиклар ўрнида магнит майдонини характерловчи катталиклар турибди. Гарчи бу ифодани бир жинсли майдон учун топган бўлсакда, у бир жинсли бўлмаган майдонлар учун ҳам ўринлидир.

Синов саволлари

1. Ток тўхтаганда ҳам магнит майдон энергияси сақланадими? 2. Магнит майдонни вужудга келтириш учун иш бажарилади ми? 3. Магнит майдон энергияси бажарилган ишга тенгми? 4. Токли ўтказгичнинг магнит майдон энергияси нимага тенг? 5. Магнит майдонининг энергияси қаерда мужассамлашган? 6. Соленоид магнит майдонининг энергияси нимага тенг? 7. Магнит майдон энергиясининг ҳажмий зичлиги нимага тенг? 8. Магнит майдон энергиясининг ҳажмий зичлиги учун топилган ифода электр майдони энергиясининг ҳажмий зичлиги ифодасига ўхшашми?

Масалалар ечишга намуналар

1-масала. Узунлиги 15 см бўлган ўтказгич 0,2 Тл индукцияли бир жинсли магнит майдонида, майдон куч чизиқларига тик йўналишда 15 м/с тезлик билан ҳаракатланади. Ўтказгичда индукцияланувчи ЭЮК топилсин.

Берилган:

$l = 15$ см $= 0{,}15$ м;
$B = 0{,}2$ Тл;
$v = 15$ м/с.

$\mathcal{E}_i = ?$

Ечиш. Электромагнит индукция ҳодисаси учун Фарадей қонунига мувофиқ

$$\mathcal{E}_i = \frac{d\Phi}{dt}.$$

Ўтказгич кесиб ўтадиган $S = l \cdot x$ — юзага сиғувчи магнит оқими

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos\alpha = Bl \cdot x.$$

Бу ерда, масаланинг шартига кўра $\alpha = 0$, $\cos = 1$ эканлиги ҳисобга олинган. Шундай қилиб, индукция ЭЮК учун ифода:

$$\mathcal{E}_i = -\frac{d(B \cdot l \cdot x)}{dt} = -B \cdot l\frac{dx}{dt} = -Bl \cdot v.$$

Катталикларнинг қийматлари ёрдамида оламиз:

$$\mathcal{E}_i = -0{,}2 \cdot 0{,}15 \cdot 15B = -0{,}45B$$

Жавоб: $\mathcal{E} = -0{,}45B$

2-масала. Ғалтакнинг индуктивлиги 0,1 мГн. Ток кучининг қандай қийматида магнит майдон энергияси 100 мкЖ га тенг бўлади?

Берилган:

$L = 0{,}1$ мГн $= 10^{-4}$ Гн;

$W = 100$ мкЖ $= 10^{-4}$ Ж;

$I = ?$

Ечиш. L индуктивликли контурда I ток ҳосил қиладиган магнит майдон энергияси қуйидаги ифода ёрдамида топилади:

$$W = \frac{1}{2} L I^2 .$$

Бу ифодадан ток кучи I ни топсак,

$$I = \sqrt{\frac{2W}{L}} .$$

Берилганлар ёрдамида топамиз:

$$I = \sqrt{\frac{2 \cdot 10^{-4}}{10^{-4}}}\ A = 1{,}41\ A.$$

Жавоб: $I = 1{,}41\ A$.

Мустақил ечиш учун масалалар

1. 1000 ўрамли соленоиднинг кўндаланг кесим юзаси 10 см^2. Ўрамларидан 1,5 Тл индукция ҳосил қилувчи ток оқмоқда. Агар 500 мкс давомида ток нолгача камайса, соленоидда вужудга келадиган ўзиндукция ЭЮК ининг ўртача қиймати топилсин. ($\langle \mathcal{E} \rangle = 3$ кВ.)
2. Узунлиги 40 см бўлган тўғри сим 5 м/с тезлик билан индукция чизиқларига тик равишда бир жинсли магнит майдонда ҳаракатланмоқда. Сим учларидаги потенциаллар фарқи 0,6 В. Магнит майдон индукцияси ҳисоблансин. ($B = 0{,}3$ Тл.)
3. 2000 та ўрамли соленоидда 120 В индукция ЭЮК ини вужудга келтириш учун, магнит оқимининг ўзгариш тезлиги қандай бўлмоғи керак. $\left(\frac{d\Phi}{dt} = 60\ \frac{\text{мВб}}{\text{с}}\right)$
4. Соленоиддаги ток кучи 10 А бўлганда 0,5 Вб магнит оқими ҳосил бўлади. Шу соленоид магнит майдонининг энергиясини топинг. ($W = 2{,}5$ Ж.)
5. Индуктивлиги 0,5 Гн бўлган галтак орқали оқаётган ток кучи 2 марта ортгирилганда магнит майдон энергияси 3 Ж га ортди. Ток кучининг ва майдон энергиясининг бошлангич қийматлари топилсин. ($I = 2$ А; $W = 1$ Ж.)

XVII БОБ. ЭЛЕКТРОМАГНИТ ТЕБРАНИШЛАР

Тебранма ҳаракат табиатдаги барча ҳодисаларга хос бўлган хусусиятдир. Оламдаги барча макрожисмлар: юлдуз, қуёш, сайёралар ва ҳоказо; табиат: фасллар, ойлар, кеча ва кундуз ва ҳоказо; микрожисмлар: молекула, атом, ядро, электронлар ва ҳоказо; жонли организм: қон айланиши, юрак уриши ва ҳоказолар доимий тебранма ҳаракатда бўлади. Шунинг учун тебранма ҳаракат жуда диққат билан ўрганишга молик жараёндир. Биз механик тебранишлар билан танишганмиз. Энди эса ҳозирги замон техникасининг мағзини ташкил қиладиган электромагнит тебранишлар жараёни билан танишамиз.

Биз дастлаб ҳаракатсиз заряд атрофида электростатик майдон, сўнгра эса ҳаракатланаётган заряд (электр токи) атрофида магнит майдон ҳосил бўлишини кўрдик. Электромагнит индукция ҳодисаси магнит майдоннинг ўзгариши уюрмали электр майдонни вужудга келтиришини кўрсатди. Ушбу бобда эса электр ва магнит майдонлар орасида яна қандай муносабатлар мавжудлигини кўрамиз. Электромагнит тебранишлар электр ва магнит майдонларнинг биргаликдаги тебранма ҳаракатларидир.

110- §. Эркин электромагнит тебранишлар. Тебраниш контурида энергиянинг алмашиниши

М а з м у н и : эркин электромагнит тебранишлар, электромагнит тебранишлар тенгламаси; электромагнит тебранишларнинг характеристикалари, тебраниш контурида кучланиш ва ток; тебраниш контурида энергиянинг айланиши.

Эркин электромагнит тебранишлар. Электромагнит тебранишлар деб зарядларнинг, токларнинг, электр ва магнит майдон кучланганликларининг даврий ва бир-бирига боглиқ равишда ўзгаришига айтилади.

Эркин электромагнит тебранишлар деб дастлаб тўпланган энергия ҳисобига ташқи таъсирсиз рўй берадиган тебранишларга айтилади.

Электромагнит тебранишлар тенгламаси. Индуктивлик L ва сиғим С лардан ташкил топган ёпиқ тебраниш контури берилган бўлсин. (185- расм). Контурда тебраниш уйготиш учун конденсаторга заряд бермоқ керак. Бунинг учун калит *1* ҳолатга келтирилади. Калит *2* ҳолатга ўтказилганда конденсатор разрядлана (яъни зарядсизлана) бошлайди ва индуктив галтакдан ўтган ток унда $\varepsilon_{ўз} = -L\frac{dI}{dt}$ ўзиндукция ЭЮК ни вужудга келтиради. Агар энергия йўқотилишини

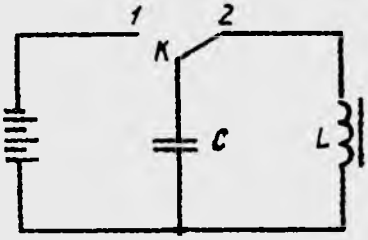
ҳисобга олмасак, у конденсатор қопламаларидаги кучланишга тенг бўлади, яъни

$$-L\frac{dI}{dt}=\frac{Q}{C}$$

ёки $I=\frac{dQ}{dt}$ лигини ҳисобга олсак,

$$-L\frac{d^2Q}{dt^2}=\frac{Q}{C}$$

ёки



185- расм.

$$\frac{d^2Q}{dt^2}+\frac{1}{LC}Q=0 \qquad (110.1)$$

тенгламани ҳосил қиламиз.

Бу ифода электромагнит тебранишлар тенгламасидир.

Ушбу ифодада

$$\omega_0^2=\frac{1}{LC} \qquad (110.2)$$

ва тебранма ҳаракат қилаётган катталик Q — заряд миқдори эканлигидан электромагнит тебранишлар тенгламаси

$$\frac{d^2Q}{dt^2}+\omega_0^2Q=0 \qquad (110.3)$$

кўринишни олади.

Электромагнит тебранишларнинг характеристикалари. Электромагнит тебранишлар тенгламаси эркин гармоник тебранишларнинг дифференциал тенгламасига ўхшаганлиги сабабли унинг ечими

$$Q=Q_0\sin(\omega_0 t+\varphi_0) \qquad (110.4)$$

кўринишга эга бўлади. Бу ерда Q_0 — конденсатор қопламаларидаги максимал заряд, ω_0 — контур хусусий тебранишларининг циклик частотасини (110.2) дан топиш мумкин:

$$\omega_0=\frac{1}{\sqrt{LC}} \qquad (110.5)$$

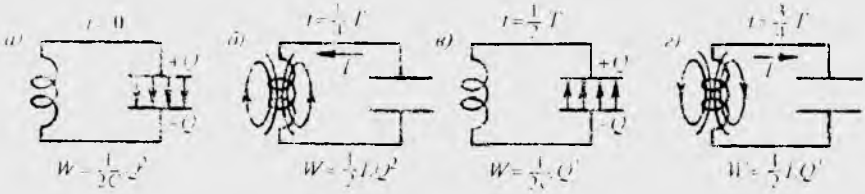
Тебраниш даври эса

$$T=\frac{2\pi}{\omega_0}=2\pi\sqrt{LC} \qquad (110.6)$$

Томсон формуласи билан аниқланади.

Тебраниш контуридаги кучланиш ва ток. Нафақат конденсатор қопламаларидаги заряд, балки контурдаги кучланиш ва ток кучи ҳам гармоник қонунларга мувофиқ ўзгаради:

$$U=\frac{Q}{C}=\frac{Q_0}{C}\sin(\omega_0 t+\varphi_0)=U_0\sin(\omega_0 t+\varphi_0), \qquad (110.7)$$



186- расм.

$$I = \frac{dQ}{dt} = Q_0\omega_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0) = I_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0)\,. \qquad (110.8)$$

Бу ерда: $U_0 = \frac{Q_0}{C}$ — кучланишнинг, $I_0 = Q_0\omega_0$ — токнинг амплитудаси. (110.4), (110.7), (110.8) ифодаларни солиштирио, ток кучини тебраниш фазаси заряд ва кучланишнинг тебраниш фазасига нисбатан $\frac{\pi}{2}$ бурчакка силжиганини кўриш мумкин.

Демак, ток ўзининг максимал қийматига конденсатор қонламаларидаги заряд ва кучланиш нолга тенг бўлганда эришади ва тескариси.

Тебраниш контурида энергиянинг айланиши. Конденсатор зарядланганда унинг қонламалари орасида

$$W_э = \frac{CU^2}{2} = \frac{Q^2}{2C} \qquad (110.9)$$

энергияли электр майдон ҳосил бўлади.

Конденсатор индуктив галтак орқали разрядланганда эса

$$W_м = \frac{LI^2}{2} \qquad (110.10)$$

энергияли магнит майдон ҳосил бўлади. Идеал контурда электр майдоннинг максимал энергияси магнит майдоннинг максимал энергиясига тенг бўлади ва бу энергиялар бир-бирига айланиб туради (186- расм):

$$\frac{CU_0^2}{2} = \frac{LI_0^2}{2}\,. \qquad (110.11)$$

Конденсатор энергияси қуйидаги қонунга мувофиқ ўзгаради:

$$W_э = \frac{CU_0^2}{2}\sin^2(\omega_0 t + \varphi_0) = \frac{Q_0^2}{2C}\sin^2(\omega_0 t + \varphi_0)\,. \qquad (110.12)$$

Агар $\omega^2 = \frac{1}{LC}$ лигини эътиборга олсак, электр майдон энергияси учун

$$W_э = \frac{W_0^2 L Q_0^2}{2}\sin^2(\omega_0 t + \varphi_0) \qquad (110.13)$$

ифодани ҳосил қиламиз.

Шунингдек, индуктив галтакдаги магнит майдон энергияси

$$W_м = \frac{LI_0^2}{2}\cos^2(\omega_0 t + \varphi_0) = \frac{\omega_0^2 LQ_0^2}{2}\cos^2(\omega_0 t + \varphi_0). \quad (110.14)$$

Бу ерда $I_0 = Q_0\omega_0$ лиги ҳисобга олинган.

Электромагнит майдоннинг тўла энергиясини топиш учун (110.13) ва (110.14) ифодаларни қўшамиз:

$$W = W_э + W_м = \frac{1}{2}\omega_0^2 LQ_0^2. \quad (110.15)$$

Натижадан кўриниб турибдики, тўла энергия ўзгармас катталик ва сақланади, яъни электромагнит тебранишлар сўнмасдир.

Синов саволлари

1. Тебранма ҳаракатлар деб қандай ҳаракатларга айтилади? 2. Тебранма ҳаракатга шунча диққат ажратилганининг сабаби нимада? 3. Электромагнит тебранишлар деб қандай тебранишларга айтилади? 4. Эркин электромагнит тебранишлар деб-чи? 5. Ёниқ тебраниш контури деб қандай занжирга айтилади? 6. Конденсатор разрядланганда индуктив галтакда нима бўлади? 7. Ўзиндукция ЭЮК конденсатордаги кучланишга теңми? 8. Электромагнит тебранишлар теңгламаси. 9. Электромагнит тебранишларда қандай катталик тебранма ҳаракат қилади? 10. Тебранишлар частотаси нимага теңг? 11. Тебраниш даври-чи? 12. Контурдаги ток кучи ва кучланиш қандай ўзгаради? 13. Ток кучи ва кучланишлар фазалари орасида фарқ борми? 14. Ток кучи ўзининг максимал қийматига қачон эришади? 15. Кучланиш чи? 16. Конденсаторнинг энергияси нимага теңг? 17. Галтак атрофидаги майдон энергияси чи? 18. Улар қандай муносабатда? 19. Тўла энергия нимага теңг? 20. Тўла энергия қандай ўзгаради?

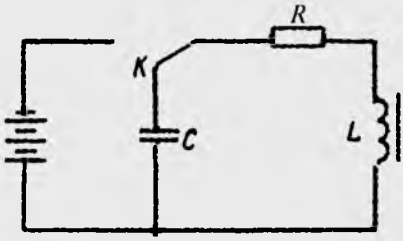
111- §. Сўнувчи электромагнит тебранишлар

Мазмуни: сўнувчи электромагнит тебранишлар теңгламаси; сўнувчи электромагнит тебранишлар характеристикалари; сўнишни характерловчи катталиклар.

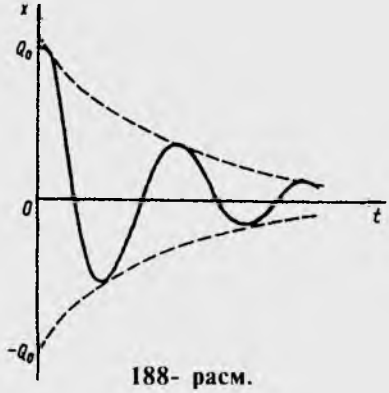
Сўнувчи электромагнит тебранишлар теңгламаси. Умуман олганда, реал тебраниш контурлари актив қаршиликка ҳам эга бўлиб, контурда тўпланган энергиянинг бир қисми иссиқлик ажралишга ҳам сарфланади (187-расм).

Натижада тебраниш амплитудаси секин камаяди ва контурдаги тебраниш сўнади. Реал тебраниш контури учун Ом қонунининг кўриниши қуйидагича бўлади:

$$-L\frac{dI}{dt} = IR + \frac{Q}{C}, \text{ ёки } L\frac{dI}{dt} + IR + \frac{Q}{C} = O. \quad (111.1)$$



187- расм.



188- расм.

Агар $I = \frac{dQ}{dt}$, $\omega_0^2 = \frac{1}{LC}$ эканлигини эътиборга олсак ва сўниш коэффициенти тушунчасини киритсак,

$$\delta = \frac{R}{2L}. \qquad (111.2)$$

(111.2) тенглама қуйидаги кўринишни олади:

$$\frac{d^2Q}{dt^2} + 2\delta\frac{dQ}{dt} + \omega_0^2 Q = 0. \qquad (111.3)$$

Бу сўнувчи электромагнит тебранишлар тенгламасидир.

Сўнувчи электромагнит тебранишлар характеристикаси. (111.3) тенгламанинг ечими қуйидаги кўринишга эга:

$$Q = Q_0 e^{-\delta t}\sin(\omega t + \varphi_0). \qquad (111.4)$$

Бу тенгламада δ — сўниш коэффициенти. Частота ω эса қуйидагича аниқланади:

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2} = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}. \qquad (111.5)$$

Шундай қилиб, сўнувчи тебранишларнинг амплитудаси экспоненциал қонун бўйича ўзгаради:

$$Q_t = Q_0 e^{-\delta t}. \qquad (111.6)$$

Бу ерда: Q_t — t вақтдаги тебраниш амплитудаси, Q_0 — $t = 0$ вақтдаги бошлангич тебраниш амплитудаси.

Сўнишни характерловчи катталиклар. 188-расмда заряд миқдори ўзгаришининг вақтга боғлиқлиги (111.4) асосида узлуксиз, амплитудасининг ўзгариши эса (111.6) асосида пунктир чизиқ билан кўрсатилган. (111.4) ифодадан кўриниб турибдики, тебраниш частотаси ω ҳақиқий сон, яъни $\delta < \omega_0$ бўлгунча давом этади. Сўнувчи тебранишлар даври қуйидаги формула ёрдамида аниқланади:

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}}. \qquad (111.7)$$

Бу ерда ω_0 — сўнмас тебранишларнинг хусусий частотаси. (111.7) ни Томсон формуласи билан солиштириб, сўнувчи тебранишлар частотаси эркин тебранишлар частотасидан катта эканлигига ишонч ҳосил қиламиз.

Контурдаги тебранишларнинг сўниш тезлиги сўнишнинг логарифмик декременти θ билан характерланади.

Сўнишнинг логарифмик декременти, маълум моментдаги тебраниш амплитудасининг, ундан бир даврга фарқ қиладиган тебраниш амплитуласига нисбатининг натурал логарифми каби аниқланади:

$$\theta = \ln \frac{Q_t}{Q_{(t+T)}} = \delta T. \qquad (111.8)$$

Сўнувчи тебранишлар частотаси *e* марта камаядиган вақт оралиги **релаксация вақти** дейилади:

$$\tau = \frac{1}{\delta}. \qquad (111.9)$$

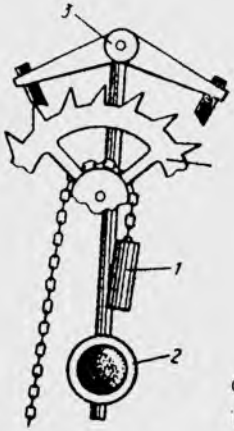
Синов саволлари

1. Реал тебраниш контурлари идеал контурлардан нимаси билан фарқ қилади? 2. Реал тебраниш контури учун Ом қонуни. 3. Сўниш коэффициенти нимага тенг? 4. Сўнувчи электромагнит тебранишлар тенгламаси. 5. Сўнувчи тебранишлар частотаси. 6. Сўнувчи тебранишлар амплитудаси. 7. Сўнувчи тебранишлар даври. 8. Сўнувчи тебранишларнинг график тасвирлари. 9. Сўнувчи тебранишлар частотаси эркин тебранишлар частотасидан каттами ёки кичикми? 10. Сўнишнинг логарифмик декременти нимани кўрсатади? 11. Сўнишнинг логарифмик декременти нимага тенг? 12. Релаксация вақти деб қандай вақтга айтилади?

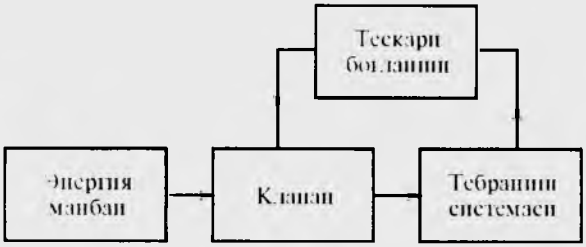
112- §. Автотебранишлар. Сўнмас тебранишлар генератори

Мазмуни: автотебранишлар; сўнмас электромагнит тебранишлар генератори.

Автотебранишлар. Тебранишларни сўнмайдиган қилиб тутиб туриш техникада муҳим аҳамиятга эгадир. Агар реал тебраниш системаси йўқотадиган энергиянинг ўрни тўлдирилиб турилса, унда тебраниш сўнмайдиган бўлади. Тебраниш контуридаги сўнмас тебранишларни доимий ташқи манба ҳисобидан энергия билан таъминлаб туриладиган автотебранишлар жуда кенг қўлланилади ва муҳим аҳамиятга эга. Бунда тебранишларнинг хоссалари системанинг ўзи томонидан аниқланади.



189- расм.



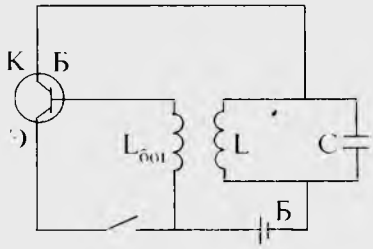
190- расм.

Энди энергия манбаи, тебранма ҳаракат қила оладиган жисм, энергияни манбадан жисмга узатадиган қурилмалардан иборат системани қарайлик. Бу система тебранаётган жисмга ишқаланиш, иссиқлик энергияси, нурланиш ва ҳоказоларга йўқотиладиган энергияни қоплашни бошқариш қобилиятига эгадир. Бундай системага маятникли соат мисол бўла олади. Маятникли соатнинг иш принципи 189-расмда кўрсатилган. Бундай соатда сиқилган пружина ёки кўтариб қўйилган тош энергия манбаи бўлиб хизмат қилади. (*1*) — маятник (*2*) эса тебраниш системаси вазифасини ўтайди. Ва ниҳоят, манбадан жисмга энергия узатилишини бошқариб турадиган қурилма (*3*) дан иборат. Система кўтариб қўйилган тош ёки сиқилган пружинанинг потенциал энергияларидан иборат энергия захирасига эга. Осиб қўйилган юк тошли гилдирак (*4*) ни ҳаракатга келтиради. У бўлса (*3*) қурилма ёрдамида маятникни бир у томонга, бир бу томонга қараб тебрантира бошлайди. Натижада маятникнинг сўнмас тебранишлари (соатнинг юриши) вужудга келади. Агар ишқаланиш жуда кам бўлса, маятникнинг тебраниш частотаси эркин тебранишлар частотасига тенг бўлади, кўрилган система эса автотебранишлар системаси дейилади.

Автотебранишлар системаси қуйидаги асосий қисмлардан иборат (190- расм):

1) тебраниш системаси; 2) тебраниш системасидаги энергия йўқотилиши, тўлдириладиган энергия манбаи; 3) клапан-тебраниш системасига маълум порциялар кўринишида энергия келишини бошқариб турувчи қурилма; 4) тебраниш системаси клапанини бошқариб турадиган тескари боғланиш.

Сўнмас электромагнит тебранишлар генератори. Бундай тебранишлар системаси вазифасини кичик қаршиликли, индуктивлик (*L*) ва конденсатор (*C*) дан иборат контур бажаради. Транзисторни кучланиш билан таъминловчи батарея (тўғрилагич) — ток манбаи вазифасини бажаради. Клапан вазифасини транзистор бажариб, манбадан тебраниш контурига энергиянинг порция бўлиб берилишини бошқаради (190-расм).



191- расм.

Тебраниш контурининг ғалтаги L билан майдон орқали боғланган тескари боғланиш ғалтаги $L_{бог}$ тебранишларнинг ўз-ўзидан пайдо бўлишига хизмат қилади (191-расм). Клапан вазифасини эса *p-n-p* типдаги транзистор ўтайди. Агар манбанинг мусбат қутби эмиттерга, манфий қутби эса базага уланган бўлса, эмиттер ўтуви очиқ бўлади. Агар базанинг потенциали эмиттерникига нисбатан мусбат бўлса, транзистор ток ўтказмайди. Айни шу потенциалларнинг муносабатига қараб транзистор «ёпиқ» ёки «очиқ» бўлади.

Агар калит ёпилса, транзистор занжирида ток пайдо бўлиб, тебраниш контуридаги конденсатор C ни зарядлайди. Контурда эркин тебранишлар вужудга келади. Контурнинг L ғалтагидан ўтаётган ток тескари боғланиш ғалтаги $L_{бог}$ да транзисторнинг эмиттерига бериладиган ўзгарувчи кучланишни индукциялайди. Биринчи ярим даврда транзистор очиқ бўлади, яъни транзисторнинг коллектор занжиридан ток оқади. Бу токнинг йўналиши контур ғалтагидаги токнинг йўналиши билан мос келади. Иккинчи ярим даврда эса контурдаги ток йўналишини ўзгартиради, транзистор «ёпилади» ва тебраниш контури ярим давр мобайнида энергия манбаидан ажратилади. Кейинги даврда жараён такрорланади. Шундай қилиб, транзистор, контурдаги сўнмас тебранишларни энергия билан таъминлаб турувчи ўзгармас ток манбаини улаб ва узиб туради.

Тебранишларнинг амплитудаси ва даври тебраниш системасининг характеристикалари билан аниқланади.

Синов саволлари

1. Тебранишлар сўнмаслиги учун нима қилиш керак? 2. Автотебранишлар деб қандай тебранишларга айтилади? 3. Соат системаси автотебранишлар системасига ухшайдими? 4. Соатнинг иш принципини тушунтиринг.5. Автотебранишлар системаси қандай қисмлардан иборат бўлади? 6. Сўнмас электромагнит тебранишлар системаси қандай тузилган бўлади? 7. Бундай контурда транзистор қандай вазифани бажаради? 8. Сўнмас электромагнит тебранишлар системасининг иш принципи. 9. Транзисторни қайси потенциал бошқаради? 10. Электромагнит тебранишлар ҳосил бўлиш жараёни

113- §. Мажбурий электромагнит тебранишлар. Резонанс

Мазмуни: мажбурий тебранишлар тенгламаси; мажбурий тебранишлар тенгламасининг ечими; резонанс.

Мажбурий тебранишлар тенгламаси. Реал тебраниш контурида сўнмас тебранишларни ҳосил қилиш учун йўқотиладиган энергиянинг ўрнини тўлдириб туриш керак.

Даврий равишда ўзгарувчи ташқи ЭЮК таъсирида вужудга келадиган тебранишларга мажбурий электромагнит тебранишлар дейилади.

Демак, мажбурий тебранишлар вужудга келиши учун контурга гармоник равишда ўзгарадиган, даврий ташқи ЭЮК ёки ўзгарувчан кучланиш

$$U = U_0 \sin \omega t \qquad (113.1)$$

ни улаш керак.

Бу ерда: U_0 — кучланишнинг максимал қиймати, ω — циклик частота.

Унда мажбурий тебранишлар тенгламасини қуйидагича ёзиш мумкин ((113.1) га қаранг):

$$L\frac{dI}{dt} + IR + \frac{Q}{C} = U_0 \cdot \sin \omega t. \qquad (113.2)$$

Агар $I = \frac{dQ}{dt}$, $\omega_0^2 = \frac{1}{LC}$, $\delta = \frac{R}{2L}$ эканлигини эътиборга олсак,

$$\frac{d^2Q}{dt} + 2\delta\frac{dQ}{dt} + \omega_0^2 Q = \frac{U_0}{L}\sin \omega t. \qquad (113.3)$$

(113.3) мажбурий электромагнит тебранишлар тенгламасидир.

Мажбурий тебранишлар тенгламасининг ечими. (113.3) тенгламанинг ечими қуйидаги кўринишга эга:

$$Q = Q_0 \sin(\omega t + \varphi), \qquad (113.4)$$

яъни мазкур шартларда мажбурий тебранишлар гармоник бўлиб, ω частота билан рўй беради.

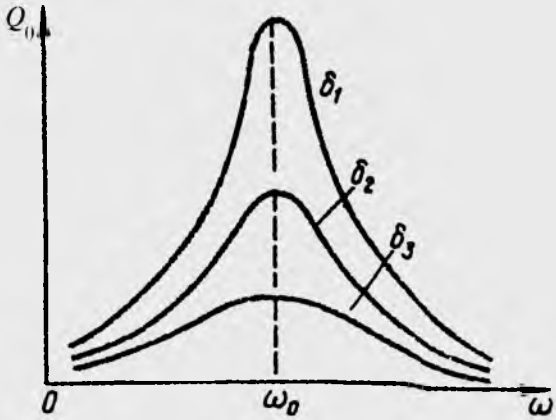
Тебранишларнинг амплитудаси

$$Q_0 = \frac{U}{\omega\sqrt{R^2 + \left[L\omega - \frac{1}{\omega C}\right]^2}} \qquad (113.5)$$

ва фазаси

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{R}{\frac{1}{\omega C} - \omega L} \qquad (113.6)$$

шартлар асосида аниқланади.



192- расм.

Контурдаги ток кучини (113.4) ифодани дифференциаллаб топамиз:

$$I = \frac{dQ}{dt} = \omega Q_0 \cos(\omega t + \alpha). \qquad (113.7)$$

(113.4) ва (113.7) ларни солиштириш шуни кўрсатадики, заряд (кучланиш) ва токнинг тебранишлари бир-бирларидан $\frac{\pi}{2}$ га силжиган.

Резонанс. Мажбурловчи ЭЮК нинг частотаси ω контурнинг хусусий тебранишлар частотаси ω_0 га яқинлашган сари мажбурий тебранишлар амплитудаси кескин ортиб боради. Идеал контурда $\omega = \omega_0$ да мажбурий тебранишлар частотаси энг катта бўлади ва чексизликка интилади. Реал контурларда эса амплитуда ўзининг энг катта қийматига ω_0 дан кичикроқ частоталарда эришади.

Мажбурий тебранишлар частотаси ω системанинг хусусий тебранишлар частотаси ω_0 га яқинлашганида, мажбурий тебранишлар амплитудасининг кескин ортишига **резонанс** дейилади.

192-расмда турли сўниш коэффициентлари учун ($\delta_3 > \delta_2 > \delta_1$) резонанс чизиқлари келтирилган. Расмдан кўриниб турибдики, сўниш коэффициенти ортиши билан чизиқлар пастроқ бўлиб боради. Демак, сўниш коэффициенти кичикроқ бўлган тебраниш системаси резонансда сўниш коэффициенти каттароқ бўлган системага нисбатан кўпроқ энергия олади.

Синов саволлари

1. Мажбурий электромагнит тебранишлар деб қандай тебранишларга айтилади? 2. Мажбурий электромагнит тебранишлар ҳосил бўлиши учун контурга қандай кучланиш уланиши керак? 3. Мажбурий тебранишлар тенгламаси. 4. Мажбурий тебранишлар тенгламасининг ечими. 5. Мажбу-

рий тебранишлар қонуни. 6. Мажбурий тебранишлар гармоникми? 7. Тебранишлар амплитуласи. 8. Тебранишлар фазаси. 9. Контурдаги ток кучининг ўзгариши. 10. Контурдаги ток кучи ва кучланишнинг фазалари мос келадими? 11. Резонанс деб нимага айтилади? 12. Сўниш коэффициенти резонанс чизиқларига қандай таъсир кўрсатади?

114- §. Ўзгарувчан ток. Ўзгарувчан ток генератори

Мазмуни: ўзгарувчан ток; ўзгарувчан ток генератори; электродвигатель.

Ўзгарувчан ток. Вақт давомида ўзгариб турадиган электр токига ўзгарувчан ток дейилади.

Ўзгарувчан токнинг йўналиши ва кучи ўзгариб турали. Умуман олганда, ўзгарувчан ток дейилганда ток кучининг ва кучланишнинг бир даврдаги ўртача қиймати нолга тенг бўладиган даврий ток тушунилади.

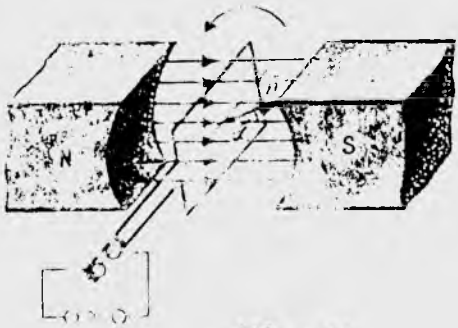
Контурда қарор топган мажбурий электромагнит тебранишларни занжирда оқаётган ўзгарувчан электр токи сифатида қараш мумкин. Ўзгарувчан электр токи гармоник қонунга мувофиқ ўзгаради.

Ўзгарувчан ЭЮК бир марта тўла тебранишни учун сарфланадиган вақтга ўзгарувчан токнинг даври T дейилади.

Бир секундлаги тўла тебранишлар сонига ўзгарувчан токнинг частотаси (ν) дейилади. Мисол учун, халқ хўжалигида фойдаланиладиган токнинг частотаси $\nu = 50$Гц. Демак, бу ток ўз йўналишини секундига 100 марта ўзгартиради. Ўзгарувчан токнинг одатдаги ν ва циклик (айланма) ω частоталари орасида қуйидаги муносабат мавжуд:

$$\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}. \qquad (114.1)$$

Ўзгарувчан ток генератори. Ўзгарувчан ток генератори деб турли хил энергияларни электр энергиясига айлантириб берадиган қурилмага айтилади.



193- расм

Механик энергияни электр энергиясига айлантиришда электромагнит индукция ҳодисасидан фойдаланилади. Бу жараённи тушуниш мақсадида бир жинсли магнит майдонда айланаётган ясси рамкани кўрайлик (193-расм). Рамка бир жинсли магнит майдонида (B=const) бурчак тезлик билан текис айланади. Рамканинг S юзасига эргашган магнит оқими

$$\Phi = B_n \cdot S = B \cdot S \cdot \cos\alpha = B \cdot S \cdot \cos\omega t$$

ифода ёрдамида аниқланади. Бу ерда $\alpha = \omega t$ — t вақтда рамканинг бурилиш бурчаги (ҳисоб боши $t = 0$ да $\alpha = 0$ деб олинган). Рамка айланганда гармоник қонунлар билан ўзгарувчи индукция ўзгарувчан ЭЮК вужудга келади:

$$\mathcal{E}_1 = -\frac{d\Phi}{dt} = B \cdot S \cdot \omega \cdot \sin\omega t, \qquad (114.2)$$

$\sin \omega t = 1$ да $\mathcal{E}_1$ ўзининг максимал қийматига эришади:

$$\mathcal{E}_{max} = BS\omega\,. \qquad (114.3)$$

(114.3) ифодадан кўриниб турибдики, индукция ЭЮК нинг максимал қиймати ($\mathcal{E}_{max}$) ω, B ва S ларга боғлиқ. Ўзбекистонда халқ хўжалигида $\nu = \omega/2\pi = 50$ Гц частотали стандарт токдан фойдаланилишини қайд этдик.

Демак, $\mathcal{E}_{max}$ ни орттириш учун B ва S ларнинг қийматларини орттириш керак. B ни орттириш мақсадида қувватли ўзгармас магнетиклардан ёки катта магнит синдирувчанликли ўзаклардан фойдаланилади. S ни орттириш учун эса бир эмас, кетма-кет уланган бир нечта ўрамлар ишлатилади. Ўзгарувчан кучланиш расмда кўрсатилган истеъмолчига узатилади.

Электродвигатель. Механик энергияни электр энергиясига айлантириш жараёни билан танишдик. Унинг тескариси, яъни электр энергиясини механик энергияга айлантириш учун ишлатиладиган қурилмаларга электродвигателлар дейилади. Электродвигателнинг ишлаш принципи қуйидагича: магнит майдонда жойлаштирилган рамка орқали электр токи ўтказилса, унга айлантирувчи момент таъсир қилади ва рамка айлана бошланади.

Синов саволлари

1. Ўзгарувчан ток деб қандай токка айтилади? 2. Ўзгарувчан токнинг нимаси ўзгаради? 3. Ўзгарувчан ток кучланиши ва кучланишининг бир даврдаги ўртача қиймати нимага тенг? 4. Контурдаги электромагнит тебранишларни ўзгарувчан ток сифатида қараш мумкинми? 5. Ўзгарувчан электр токи қандай қонунга мувофиқ ўзгаради? 6. Ўзгарувчан токнинг даври деб қандай катталикка айтилади? 7. Ўзгарувчан токнинг частотаси деб-чи? 8. Халқ хўжалигида ишлатиладиган токнинг частотаси қанча? 9. Ўзгарувчан токнинг циклик частотаси. 10. Ўзгарувчан ток генератори деб қандай қурилмаларга айтилади? 11. Генераторнинг иш принципи нимага асосланган? 12. Ўзгарувчан ток генераторининг тузилиши.13. Ўзгарувчан токнинг ҳосил бўлиш жараёни 14. Рамкага эргашадиган магнит оқими. 15. Вужудга келадиган индукция ЭЮК. 16. ЭЮК нинг максимал қиймати нималарга боғлиқ? 17. ЭЮК нинг максимал қийматини орттириш учун қандай йўл тутилади? 18. Электродвигатель деб қандай қурилмага айтилади. 19. Электродвигателнинг иш принципи.

115- §. Ўзгарувчан ток занжиридаги фаол, сиғим ва индуктив қаршиликлар

Мазмуни: ўзгарувчан ток занжирида фаол (актив) қаршилик; ўзгарувчан ток занжирида индуктив ғалтак; ўзгарувчан ток занжирида конденсатор.

Ўзгарувчан ток занжирида фаол қаршилик.

Демак, занжирда фақат R мавжуд бўлиб, ($L \to 0$, $C \to 0$) унга

$$U = U_m \cos \omega t \qquad (115.1)$$

ўзгарувчан кучланиш қўйилган бўлсин (194- *а* расм). Фаол қаршиликдан оқаётган токнинг оний қиймати Ом қонуни ёрдамида аниқланади:

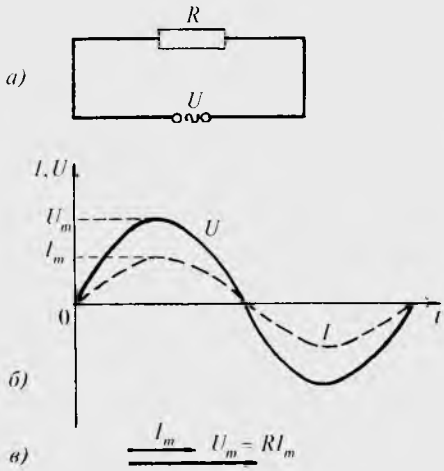
$$I = \frac{U}{R} = \frac{U_m}{R} \cos \omega t = I_m \cos \omega t. \qquad (115.2)$$

Бу ерда

$$I_m = \frac{U_m}{R} \qquad (115.3)$$

ток кучининг амплитудаси.

194- *б* расмда занжирдаги кучланиш ва ток кучининг ўзгариш графиги кўрсатилган. Шунингдек, ўзгарувчан ток ва кучланиш орасидаги муносабатни аниқ намоён қилиш учун вектор диаграммалари усулидан фойдаланилади. 194- *в* расмда фаол қаршиликдаги ток кучи I_m ва кучланиш U_m амплитудавий қийматларининг вектор диаграммалари берилган. I_m ва U_m лар орасида фазалар фарқи нолга тенг.



194- расм.

Ўзгарувчан ток занжирида индуктив ғалтак. Демак, занжирда фақат L индуктив ғалтак қатнашяпти. ($R \to 0$, $C \to 0$, 195- *а* расм). Агар занжирга (115.1) кўринишдаги ўзгарувчан кучланиш қўйилган бўлса, ундан ўзгарувчан ток оқади ва натижада

$$\mathcal{E}_{ўз} = -L \frac{dI}{dt} \qquad (115.4)$$

ўзиндукция ЭЮК вужудга келади. Унда занжирнинг шу қисми учун Ом қонуни

$$U_m \cdot \cos \omega t - L \frac{dI}{dt}.$$

Бундан

$$L \frac{dI}{dt} = U_m \cdot \cos \omega t \qquad (115.5)$$

Агар ташқи кучланиш индуктив галтакка қўйилганлигини ҳисобга олсак, ундаги кучланиш тушиши

$$U_L = \frac{dI}{dt} \qquad (115.6)$$

бўлишини кўрамиз. (115.5) ифодадан dI ни аниқлаймиз:

$$dI = \frac{U_m}{L}\cos\omega t \cdot dt.$$

Бу ифодани интеграллаб ва ўзгарувчан ток ҳолида интеграллаш доимийси нолга тенглигини ҳисобга олиб топамиз:

$$I = \frac{U_m}{\omega L}\sin\omega t = \frac{U_m}{\omega L}\cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) = I_m\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right). \qquad (115.7)$$

бу ерда

$$I_m = \frac{U_m}{\omega L}. \qquad (115.8)$$

Бу ифодани Ом қонуни билан солиштирсак, махраждаги катталик қаршилик бўлиши кераклигини тушунамиз:

$$R_L = \omega L. \qquad (115.9)$$

У *реактив индуктив қаршилик* (ёки индуктив қаршилик) дейилади. (115.9) ифодадан кўриниб турибдики, $\omega = 0$ бўлганда (яъни ток ўзгармас бўлганда), индуктив қаршилик нолга тенг бўлади. (115.8) дан $U_m = \omega L I_m$ ни аниқлаб, индуктив галтакдаги кучланиш тушишини аниқлашимиз мумкин:

$$U_L = L\frac{dI}{dt} = U_m\cos\omega t = \omega L I_m\cos\omega t. \qquad (115.10)$$

(115.7) ва (115.10) ни солиштириб, галтакдаги кучланиш тушиши U_L ундаги ток I дан $\frac{\pi}{2}$ фазага олдинга кетишини кўрамиз (195- *б* расм). Кучланиш ва ток кучи амплитудавий қийматларининг вектор диаграммалари 195- *в* расмда кўрсатилган.

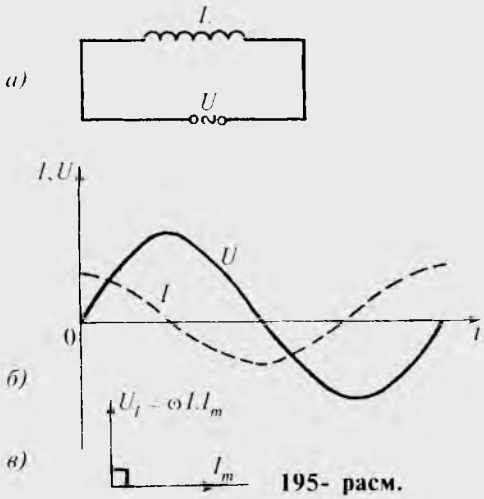
Ўзгарувчан ток занжирида конденсатор. Демак, занжирда фақат С сиғимли конденсатор мавжуд бўлиб: $R \to 0$, $L \to 0$ (196- *а* расм).

Агар занжирга (115.1) кўринишдаги ўзгарувчан кучланиш қўйилган бўлса, конденсатор ҳамма вақт зарядланаверади ва занжирдан ток оқади:

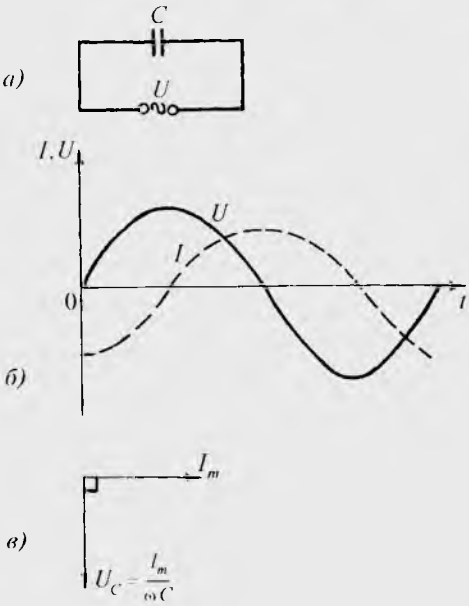
$$\frac{Q}{C} = U_c = U_m\cos\omega t. \qquad (115.11)$$

Ток кучи

$$I = \frac{dQ}{dt} = -\omega C U_m\sin\omega t = I_m\cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right), \qquad (115.12)$$



195- расм.



196- расм.

бу ерда

$$I_m = \omega C U_{m} = \frac{U_m}{\left[\frac{1}{\omega C}\right]}.$$

Бу ифодани Ом қонуни билан солиштирсак, махраждаги катталик қаршилик бўлиши кераклигини тушунамиз:

$$R_C = \frac{1}{\omega C}. \qquad (115.13)$$

Бу катталик реактив *сиим қаршилик* (ёки сиғим қаршилик) дейилади. (115.13) ифода ўзгармас ток ($\omega = 0$) бўлганда, $R_C = \infty$ бўлиб, ўзгармас ток конденсатордан оқмаслигини кўрсатади. Шундай қилиб, конденсатордаги кучланиш тушиши

$$U_C = U_m \cos t =$$

$$= \frac{1}{\omega C} \cdot I_m \cdot \cos \omega t. \qquad (115.14)$$

(115.12) ва (115.14)ни солиштириб, конденсатордаги кучланиш тушиши U_C конденсатордан оқаётган ток кучи I дан фаза буйича $\frac{\pi}{2}$ га орқада қолишини кўрамиз (196- *б* расм). Кучланиш ва ток кучи амплитудавий қийматларининг вектор диаграммалари 196- *в* расмда кўрсатилган.

Синов саволлари

1. Ўзгарувчан ток занжиридаги фаол қаршиликдан оқаётган ток кучининг опий қиймати қандай аниқланади? 2. Фаол қаршиликдаги ток кучи ва кучланишлар амплитудавий қийматларининг фазалар фарқи ни-

мага тенг? 3. Индуктив ғалтакли ўзгарувчан ток занжиридаги токнинг амплитудавий қиймати нимага тенг? 4. Реактив индуктив қаршилик нимага тенг? 5. Реактив индуктив қаршилик частота ортиши билан қандай ўзгаради? 6. Ғалтакдаги кучланиш тушиши ва ток кучи фазалари мос келадими? 7. Кучланиш тушиши ва ток кучи амплитудавий қийматларининг вектор диаграммасини тушунтириб беринг. 8. Конденсаторли ўзгарувчан ток занжиридаги ток кучи қандай аниқланади? 9. Реактив сиғим қаршилик нимага тенг? 10. Реактив сиғим қаршилик частота ортиши билан ўзгарадими? 11. Частота нолга тенг бўлганда, реактив сиғим қаршиликнинг чексиз катта бўлишини қандай тушунтирасиз? 12. Конденсатордаги кучланиш тушиши ва ток кучи фазалари орасида қандай фарқ мавжуд?

116- §. Ўзгарувчан ток занжири учун Ом қонуни

Мазмуни: ўзгарувчан ток занжирида R, L, C; занжирдаги кучланиш ва ток кучи; кучланиш ва ток кучи орасидаги фазалар фарқи: тўла реактив қаршилик; кучланишлар резонанси.

Ўзгарувчан ток занжирида R, L, C. Ўзгарувчан ток занжирида R актив қаршилик, L индуктивликли ғалтак , С сиғимли конденсаторлар кетма-кет уланган ҳолни кўрайлик (197- *а* расм). Занжирга ўзгарувчан кучланиш берилганда занжирнинг ҳар бир элементида U_R, U_m ва U_C кучланиш тушишлари рўй беради. 197- *б* расмда улар амплитудаларининг вектор диаграммалари кўрсатилган.

Занжирга қўйилган кучланиш амплитудаси U_m шу кучланиш тушишларининг вектор йиғиндисига тенг бўлмоғи керак.

Занжирдаги кучланиш ва ток кучи. Занжирдаги кучланишни ҳосил бўлган учбурчак ёрдамида қуйидагича аниқлаймиз:

$$U_m^2 = U_R^2 + (U_L - U_C)^2.$$

Ёки

$$U_m = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2}. \qquad (116.1)$$

Агар кучланиш тушишларининг ифодаларидан фойдалансак,

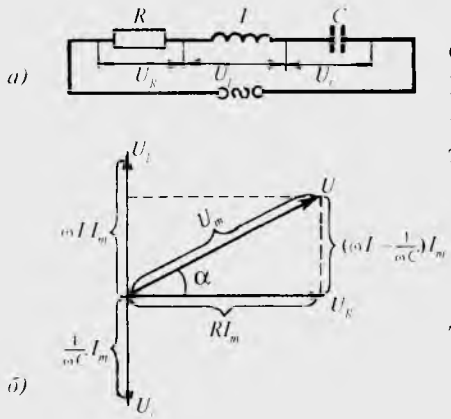
$$U_m = \sqrt{(I_m R)^2 + \left[\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) I_m\right]^2} \qquad (116.2)$$

ни ҳосил қиламиз. Шунингдек, ўзгарувчан ток занжиридаги тўла қаршилик:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}. \qquad (116.3)$$

Унда ўзгарувчан ток занжири учун Ом қонуни:

$$I_m = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}. \qquad (116.4)$$



197- расм.

Кучланиш ва ток кучи орасидаги фазалар фарқи. 197- *б* расмдан кўриниб турибдики, кучланиш ва ток кучи орасидаги фазалар фарқи α га тенг. Уни аниқлаймиз:

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}. \qquad (116.5)$$

Демак, занжирдаги кучланиш

$$U = U_m \cos \omega t$$

қонун бўйича ўзгарса, унда занжирдан

$$I = I_m \cos(\omega t - \alpha)$$

ток кучи оқади.

Тўла реактив қаршилик. Ўзгарувчан ток занжири учун

$$X = R_L - R_C = \omega L - \frac{1}{\omega C} \qquad (116.6)$$

ифода *тўла реактив қаршилик* дейилади. (Реактив қаршиликдан ток ўтганда иссиқлик ажралмайди.)

Кучланишлар резонанси. Энди занжирда реактив қаршилик нолга тенг бўлган ҳолни кўрайлик:

$$\omega L - \frac{1}{\omega C} = 0. \qquad (116.7)$$

Унда занжирда кучланишлар резонанси рўй бериб, Ом қонуни қуйидаги кўринишни олади:

$$I_m = \frac{U_m}{R}. \qquad (116.8)$$

Бунда занжирдаги ток кучи энг катта қийматига эришиб, фазаси кучланиш фазаси билан мос келади. Актив қаршилик, индуктив галтак ва конденсатор кетма-кет уланган ўзгарувчан ток занжиридаги резонанс *кучланишлар резонанси* дейилади. Бунга сабаб индуктив галтак ва конденсатордаги кучланишларнинг занжирга киришдаги кучланишдан анча катта бўлганлигидир.

(116.7) ифодадан ω ни топамиз:

$$\omega_{рез} = \frac{1}{\sqrt{LC}}. \qquad (116.9)$$

Демак, частота айнан шу шартни бажарувчи қийматни қабул қилганида, ўзгарувчан ток занжирида кучланишлар резонанси рўй беради. $\omega_{рез}$ *резонанс частотаси* дейилади.

Синов саволлари

1. Занжирда R, L, C бўлганда, улардаги кучланиш тушишларининг вектор диаграммаларини тушунтиринг. 2. Занжирга қўйилган кучланиш амплитудаси кучланиш тушишлари билан қандай боғланган? 3. Занжирдаги кучланиш қандай аниқланади? 4. Ўзгарувчан ток занжиридаги тўла қаршилик-чи? 5. Ўзгарувчан ток занжири учун Ом қонуни. 6. Кучланиш ва ток кучи орасидаги фазалар фарқи. 7. Тўла реактив қаршилик. 8. Реактив қаршилик актив қаршиликдан нима билан фарқ қилади? 9. Тўла реактив қаршилик нолга тенг бўлганда, занжирдаги ток кучи қандай бўлади? 10. Шу шартда ток кучи ва кучланишлар орасидаги фазалар фарқи қандай бўлади? 11. Кучланишлар резонанси деб қандай резонанса айтилади? 12. Резонанс частота нимага тенг?

117- §. Ўзгарувчи токнинг иши ва қуввати

Мазмуни: ўзгарувчан ток қувватининг оний қиймати; ўзгарувчан токнинг ўртача қуввати; қувват коэффициенти; ўзгарувчан токнинг иши.

Ўзгарувчан ток қувватининг оний қиймати. Ўзгармас токнинг қуввати

$$P = I \cdot U \tag{117.1}$$

ифода билан аниқланишини биламиз. Ўзгарувчан токнинг оний қувватини ҳам кучланиш ва ток кучининг оний қийматлари орқали (117.1)га ўхшаш ифода ёрдамида аниқлаш мумкин:

$$P(t) = U(t) \cdot I(t), \tag{117.2}$$

бу ерда $U(t)=U_m\cos\omega t$, $I(t) = I_m\cos(\omega t - \varphi)$ — ўзгарувчан ток занжиридаги кучланиш ва ток кучининг қийматлари (116- § га қаранг). $U(t)$ ва $I(t)$ ларнинг қийматларини (117.2)га қўйиб ва $\cos(\omega t - \varphi)$ ни очиб, қуйидаги ифодани оламиз:

$$P(t) = I_m U_m \cos(\omega t - \varphi)\cos\omega t =$$

$$= I_m U_m(\cos^2 \omega t \cdot \cos\varphi + \sin\omega t \cdot \cos\omega t \cdot \sin\varphi). \tag{117.3}$$

Ўзгарувчан токнинг ўртача қуввати. Амалда қувватнинг оний қиймати эмас, балки унинг ўртача қиймати аҳамиятга эгадир:

$\langle \cos^2 \omega t \rangle = \frac{1}{2}$, $\langle \sin\omega t \cdot \cos\omega t \rangle = 0$ эканлигини эътиборга олсак, (117.3) дан оламиз:

$$\langle P \rangle = \frac{1}{2} I_m U_m \cos\varphi. \tag{117.4}$$

Агар $U_m \cos\alpha = I_m R$ эканлигини эътиборга олсак (157- *б* расмга қаранг), ўртача қувват учун оламиз:

$$\langle P \rangle = \frac{1}{2} R I_m^2 . \qquad (117.5)$$

$I = \frac{I_M}{\sqrt{2}}$ ток кучига эга бўлган ўзгармас ток ҳам шундай қувватга эга бўлар эди:

$$I_{эф} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}, \qquad U_{эф} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \qquad (117.6)$$

катталиклар мос равишда **токнинг ва кучланишнинг эффектив қийматлари дейилади.** Барча амперметрлар ва вольтметрлар токнинг ва кучланишнинг эффектив қийматларини аниқлашга мўлжалланган.

Қувват коэффициенти. Агар ток кучи ва кучланишнинг эффектив қийматлари учун ёзилган (117.6) ифодадан фойдаланса, қувватнинг ўртача қиймати учун ёзилган (117.4) ифода қуйидаги кўринишни олади:

$$\langle P \rangle = I_{эф} \cdot U_{эф} \cdot \cos\varphi, \qquad (117.7)$$

бу ердаги cosφ кўпайтувчи *қувват коэффициенти* дейилади

(117.7) формуланинг кўрсатишича, ўзгарувчан ток занжиридан ажраладиган қувват нафақат ток кучи ва кучланишга эмас, балки улар фазалари орасидаги силжишга ҳам боғлиқ бўлади. Агар занжирда реактив қаршилик бўлмаса ($X = 0$), унда $\cos\varphi = 1$ ва

$$P = I \cdot U \qquad (117.8)$$

бўлади. Агар занжирда фақат реактив қаршилик бўлса ($R = 0$), унда $\cos\varphi = 0$, ток кучи ва кучланиш қанча катта бўлишидан қатъи назар ўртача қувват нолга тенг бўлади. Агар cosφ нинг қиймати бирдан жуда кичик бўлса, унда генераторнинг берилган кучланишида сўралган қувватни узатиш учун ток кучининг қийматини ошириш керак. Бу эса ёки занжирда қўшимча иссиқлик миқдори ажралишига, ёки ўтказгич кўндаланг кесимини катталаштириш натижасида электр узатиш линияларининг қимматлашувига олиб келади. Шунинг учун ҳам амалда cosφ нинг қийматини орттиришга ҳаракат қилинади. Унинг саноат ускуналари учун қабул қилиши мумкин бўлган энг кичик қиймати тахминан 0,85ни ташкил қилади.

Ўзгарувчан токнинг иши. Ўзгарувчан токнинг T вақт давомидаги ўртача ишини топайлик. Бу иш ўртача қувватнинг даврга кўпайтмаси билан аниқланади:

$$A = \langle P \rangle \cdot T. \qquad (117.9)$$

Агар ўртача қувват учун топилган (117.4) ва (117.5) ифодалардан фойдаланса, оламиз:

$$\langle A \rangle = \frac{1}{2} I_m \cdot U_m \cdot T \cos\varphi; \qquad (117.10)$$

$$\langle A \rangle = \frac{1}{2} R T I_m^2. \qquad (117.11)$$

Синов саволлари

1. Ўзгарувчан токнинг қуввати нимага тенг? 2. Ўзгарувчан токнинг оний қуввати. 3. Ўзгарувчан токнинг ўртача қуввати. 4. Ток кучи ва кучланишларнинг эффектив қийматлари нимага тенг? 5. Ўзгарувчан ток қуввати, ток кучи ва кучланишларнинг эффектив қиймати ифодалари. 6. Қувват коэффициенти деб нимага айтилади? 7. Агар занжирда реактив қаршилик бўлмаса, қувват нимага тенг бўлади? 8. Агар занжирда актив қаршилик бўлмаса, ўртача қувват нимага тенг бўлади? 9. Нима учун қувват коэффициентининг қиймати бирдан жуда кичик бўлиши яхши эмас? 10. Қувват коэффициентининг энг мақбул қиймати нимага тенг? 11. Ўзгарувчан токнинг T вақт давомидаги ўртача иши нимага тенг?

118- §. Уч фазали ток ҳақида тушунча

Мазмуни: кўп фазали токка зарурат; уч фазали ток.

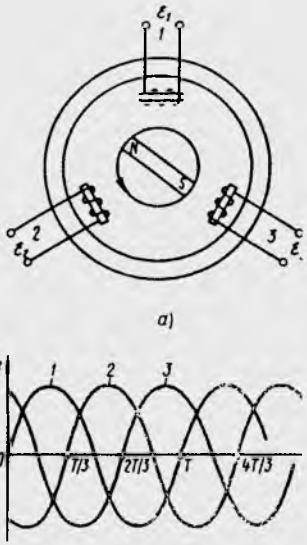
Кўп фазали токка зарурат. XIX асрнинг 90- йилларигача бир фазали токдан фойдаланиб келинган бўлиб, генератордан истеъмолчига қадар иккита сим тортилган ва асосан ёритишда фойдаланилган. Лекин бир фазали ток билан ишловчи кучли электр двигателларини ясаш муваффақиятсизликка учраган. Шунинг учун ҳам кўп фазали токдан фойдаланиш гояси пайдо бўлган.

1889 – 1891 йилларда рус электротехниги М. Доливо-Добровольский уч фазали ток системасини таклиф қилди. Бу таклиф тез орада кенг қўлланила бошланди. Аниқса, барча электротехник қурилмалар уч фазали токда ишлай бошлади.

Электр занжирларнинг уч фазали системаси деб, ЭЮК нинг фазалари бир-биридан $^1/_3$ даврга силжиган, ўзгарувчан токнинг бир хил частотали учта электр занжиридан иборат системасига айтилади. Агар ЭЮК ларнинг фазалари ўзаро тенг бўлса, *симметрик система* дейилади. Уч фазали системанинг ҳар бир алоҳида занжири қисқача қилиб *фаза* дейилади. 198 *а* расмда энг содда уч фазали ток генераторининг схемаси курсатилган. Генератор бир-биридан $\frac{2}{3}\pi$ бурчакка бурилган учта ўрамдан иборат. Ротор ўзгармас тезлик билан айланганда ғалтакларда бир хил частотали, бир хил амплитудали, лекин фазалари бир-биридан $\frac{1}{3}$ даврга фарқ қилувчи ўзгарувчан ЭЮК индукцияланади. Ўрамлардаги ЭЮК лар қуйидаги ифодалар билан аниқланади:

1 ўрамда: $\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_0 \sin \omega t$;

2 ўрамда: $\mathcal{E}_2 = \mathcal{E}_0 \sin\left(\omega t - \frac{2}{3}\pi\right)$;



198- расм.

3 $\mathcal{E}$ ўрамда: $\mathcal{E}_3 = \mathcal{E}_0 \sin\left(\omega t - \frac{4}{3}\pi\right)$.

Ўрамлардаги ЭЮК нинг ўзгариши 218- *б* расмда график равишда кўрсатилган.

Уч фазали генераторнинг ҳар бир ўрами мустақил электр энергияси манбаи бўлади. Демак, бундай генератор учта бир фазали ток генератори жамламасига тенг кучли экан. Агар бу генераторларни бир-бирлари билан боғланмаган деб ҳисобласак, унда уч фазали генератордан электр энергиясини истеъмолчига узатиш учун олтита ўтказгич керак бўлади. Бундай система ўта ноқулайдир . Шунинг учун ҳам туташтирувчи симлар сонини камайтириш мақсадида генератор ўрамларини юлдуз ёки учбурчак усулида улашдан фойдаланилади.

Синов саволлари

1. Ўн тўққизинчи асрнинг тўқсонинчи йилларигача қандай токдан фойдаланилган? 2. Кўп фазали токка қандай зарурат тугилган? 3. Уч фазали ток системасини ким таклиф қилган? 4. Уч фазали ток системаси деб нимага айтилади? 5. Симметрик система деб нимага айтилади? 6. Уч фазали ток генераторининг иш принципи. 7. Уч фазали ток генераторининг тузилиши. 8. Ўзгарувчан ЭЮК нинг даврлари бир-биридан фарқ қиладими? 9. Ўрамлардаги ЭЮК ларнинг ифодалари. 10. Ўзгарувчан ток генератори ўрамларини улаш усуллари.

119- §. Ўзбекистонда электрлаштириш истиқболлари

Мазмуни: Ўзбекистонда электр энергия ишлаб чиқаришнинг ҳолати; электрлаштириш истиқболлари.

Ўзбекистонда электр энергия ишлаб чиқаришнинг ҳолати. Электр энергиясидан фойдаланиш Ўзбекистонда йигирманчи асрнинг дастлабки йилларида бошланган ва иккита электр станцияси қурилган. Уларнинг бири Тошкент шаҳридаги трамвайни электр билан таъминлаш, иккинчиси эса шаҳарни ёритиш учун ишлатилган. Кейинчалик гидроэлектр станциялари қурила бошланган. Шу аср 50 йилларининг иккинчи ярмига келиб, Ўзбекистонда табиий газнинг жуда

бой захираларининг топилиши электр энергияси ишлаб чиқаришни кескин ошириш имкониятларини вужудга келтирди. 60 — 70- йилларда табиий газ негизида ишлайдиган Тошкент, Навоий, Тахиатош, Сирдарё иссиқлик электр станциялари, Ангрен кўмир кони асосида ишлайдиган Ангрен иссиқлик электр станциялари ишга туширилиши натижасида умумий электр ишлаб чиқаришда иссиқлик электр станцияларининг ҳиссаси 80% га етди. Шу билан бирга электр узатиш линиялари ва шаҳарлар яқинида кичик станцияларни барпо этиш давом эттирилди. Ҳозир Ўзбекистон энергетика системаси йилига 55 миллиард кВт · соатдан ортиқ электр энергияси ишлаб чиқара олиш қувватига эга бўлган 37 та иссиқлик ва гидроэлектр станцияларидан иборатдир. Барча кучланишлардаги электр тармоқларининг умумий узунлиги қарийб 228 минг км ни ташкил қилади. Уларнинг 5,5 минг км — 220 кВ ли, 1,7 минг км эса 500 кВли юқори кучланишли линиялардир.

Электрлаштириш истиқболлари. Ўзбекистонда гидроэлектр станцияларнинг сони йигирма еттита. 1995 йилда уларда 6331,2 млн. кВт. соат электр энергияси ишлаб чиқарилди. Истиқболда Пском дарёси, Тўпаланг, Ҳисорак, Оҳангарон сув омборларида гидроэлектр станцияларини қуриш мўлжалланган. (Йирик гидроэлектр станциялари рўйхати 11- жадвалда келтирилган.)

Иссиқлик электр станцияларининг қурилиши натижасида 1995 йилда энергетика системасининг ўрнатилган қувватлари 11,3 минг МВт га етди. Яқин йилларда Янги Ангрен ва Толлимаржон иссиқлик электр станцияларини ишга тушириш режалаштирилган. (Йирик иссиқлик электр станциялари рўйхати 12- жадвалда ва иссиқлик электр марказлари рўйхати 13- жадвалда келтирилган.)

11- жадвал.

Ўзбекистондаги энг йирик гидроэлектр станциялари

Номи	Ўрнатилган қувватлар, МВт	Агрегатлар сони	Қурилган йиллар	Сув манбаи
Чорвоқ ГЭС	620,5	4	1970—1972	Чирчиқ
Хўжакент ГЭС	165	3	1976	Чирчиқ
Ғазалкент ГЭС	120	3	1980—1981	Чирчиқ
Фарҳод ГЭС	126	4	1948—1949	Сирдарё

12- жадвал

Ўзбекистондаги энг йирик иссиқлик электр станциялари

Номи	Ўрнатилган қувватлар, МВт	Агрегатлар сони	Қурилган йиллар	Жойлашган шаҳар	Изоҳ
Сирдарё ИЭС	3000	10	1972–1981	Ширин	Лойиҳа қуввати 240 МВт
Янги Ангрен ИЭС	1800	6	1985 йилда бошланган	Нуробод	Лойиҳа қуввати 320 МВт
Тошкент ИЭС	1860	12	1963–1971	Тошкент	
Навоий ИЭС	1250	11	1963–1981	Навоий	
Ангрен ИЭС	484	8	1957–1963	Ангрен	
Тахиатош ИЭС	730	5	1961–1990	Тахиатош	
Толлимаржон ИЭС	—	—	1984 йилда бошланган	Нуристон	

13- жадвал

Йирик иссиқлик электр марказлари

Номи	Ўрнатилган қувватлар, МВт	Қурилган йиллар	Жойлашган шаҳар	Изоҳлар
Фарғона ИЭМ	330	1956—1979	Қиргули	Лойиҳа қуввати 140 МВт
Муборак ИЭМ	60	1985—1988	Муборак	
Тошкент ИЭМ	30	1939—1954	Тошкент	

Изоҳ. Рақамлар 1995 йилдаги ҳолат учун олинган.

Синов саволлари

1. Ўзбекистонни электрлаштириш қачон бошланган? 2. Ўзбекистонда нима учун иссиқлик электр станцияларини қуришга кўпроқ эътибор берилган? 3. Қандай иссиқлик электр станцияларини биласиз? 4. Умумий электр энергияси ишлаб чиқаришда иссиқлик электр станцияларининг ҳиссаси қанча? 5. Ҳозир Ўзбекистон энергетика системаси йилига қанча электр энергияси ишлаб чиқариш қувватига эга? 6. Ўзбекистонда нечта электр станциялари мавжуд? 7. Ўзбекистондаги электр тармоқларининг умумий узунлиги қанча? 8. Қанча юқори кучланишли линиялар мавжуд? 9. Ўзбекистонда нечта гидроэлектр станциялар мавжуд? 10. Энг йирик гидроэлектр станцияларнинг номлари ва характеристикаларини келтиринг. 11.Истиқболда қандай гидроэлектрстанцияларни қуриш мўлжалланмоқда? 12. Энг йирик иссиқлик электрстанцияларининг номлари ва характеристикаларини келтиринг. 13.Энг йирик иссиқлик электр марказларининг номлари ва характеристикаларини келтиринг. 14. Иссиқлик электр станцияларининг истиқболлари.

Масалалар ечиш намуналари

1-масала. Ғалтак чулгами кўпдаланг кесимининг юзаси 1 мм² бўлган 500 та мис сим ўрамидан иборат. Ғалтакнинг узунлиги 50 см, диаметри 5 см. Ғалтакнинг тўла қаршилиги унинг актив қаршилигидан икки марта катта бўлиши учун унга қандай частотали ўзгарувчан ток уланиши керак?

Берилган:

$S = 1$ мм$^2 = 10^{-6}$ м^2;
$N = 500$;
$l = 50$ см $= 0{,}5$м;
$d = 5$ см $= 5 \cdot 10^{-2}$ м;
$Z/R = 2$;
$\rho = 1{,}7 \cdot 10^{-8}$ Ом · м

$\nu = ?$

Ечиш. Занжирда конденсатор бўлмаганлиги учун $R_c = 0$ ва тўла қаршилик қуйидагича аниқланади:

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}.$$

Бу ифодадан ω ни топиб оламиз:

$$\omega = \frac{R}{L}\sqrt{\left(\frac{Z}{R}\right)^2 - 1} = \sqrt{3}\,\frac{R}{L}.$$

Бу ерда $Z/R = 2$ лигини эътиборга олдик. Агар $\omega = 2\pi\nu$ лигидан ҳам фойдалансак,

$$\nu = \frac{\sqrt{3}}{2\pi}\,\frac{R}{L}$$

бўлади. Бу ерда R актив қаршилик: $R = \rho\dfrac{l_{сим}}{S} = \dfrac{\pi \cdot d \cdot N}{S}$.

Симнинг узунлиги $l_{сим} = \pi d \cdot N$ эканлигидан фойдаландик. Индуктивлик L эса

$$L = \mu_0\left(\frac{N}{l}\right)^2 V = \mu_0\left(\frac{N}{l}\right)^2 \cdot l \cdot \pi\frac{d^2}{4} = \pi\mu_0\frac{d^2N^2}{4l}.$$

R ва L лар учун топилган ифодалардан фойдаланиб, ν ни аниқлаймиз:

$$\nu = \frac{2\sqrt{3}\rho \cdot l}{\pi\mu_0 d \cdot S \cdot N}.$$

Катталикларнинг сон қийматларидан фойдаланиб оламиз $\left(\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\ \text{Гн/м}\right)$:

$$\nu = \frac{2\sqrt{3}\cdot 1{,}7\cdot 10^{-8}\cdot 0{,}5}{4\pi^2\cdot 10^{-7}\cdot 5\cdot 10^{-2}\cdot 10^{-6}\cdot 500}\ \text{Гц} \approx 240\ \text{Гц}.$$

Жавоб: $\nu = 240$ Гц.

2 - масала. Тебраниш контурининг индуктивлиги 0,5 мГн. 300 м тўлқин узунлигида резонанс рўй бериши учун контурнинг электр сиғими қандай бўлиши керак?

Берилган:

$L = 0{,}5$мГн $= 5 \cdot 10^{-4}$ Гн;
$\lambda = 300$ м.

$C_0 = ?$

Ечиш. Тебраниш контуридаги тебраниш даври Томсон формуласига мувофиқ аниқланади:

$$T = 2\pi\sqrt{LC_0}.$$

Иккинчи томондан, резонанс рўй берадиган тебраниш даври ва резонанс тўлқин узунлиги қуйидагича боғланган:

$$\lambda = CT,$$

бундан эса

$$T = \frac{\lambda}{C}.$$

Бу ерда $c = 3 \cdot 10^8$ м/с — ёруғликнинг вакуумдаги тезлиги. Тебраниш даври учун топилган ифодаларни тенглаштириб, ундан электр сиғими C_0 ни топамиз:

$$\frac{\lambda}{c} = 2\pi\sqrt{LC_0}\ \text{ёки}\ C_0 = \frac{\lambda^2}{4\pi^2c^2L}.$$

Катталикларнинг сон қийматларидан фойдаланиб топамиз:

$$C_0 = \frac{(300)^2}{4\cdot(3{,}14)^2(3\cdot 108)^2\cdot 5\cdot 10^{-4}}\ \text{Ф} = 0{,}051\cdot 10^{-9}\ \text{Ф} = 51\ \text{пФ}$$

Жавоб: $C_0 = 51$ пФ.

Мустақил ечиш учун масалалар

1. 220 В кучланишли, 50 Гц частотали ўзгарувчан ток занжирига 35,4 мкФ сиғимли конденсатор, 100 Ом актив қаршилик ва 0,7 Гн индуктивликли ғалтак кетма-кет уланган. Занжирдаги ток кучи, конденсатор, индуктивлик ва актив қаршиликдаги кучланиш тушиши топилсин.

   (I_m = 1,34 А; U_C = 121В, U_R = 134 В, U_L = 295 В.)
2. Тебраниш контури 8 пФ сиғимли конденсатор ва 0,5 мГн индуктивликли ғалтакдан иборат. Агар ток кучининг максимал қиймати 40 мА бўлса, конденсатор қопламаларидаги максимал кучланиш топилсин. (U_{max} = 316 В.)
3. Тебраниш контури параллел уланган индуктив ғалтак ва конденсатордан иборат. Ғалтак 1000 ўрамдан иборат бўлиб, узунлиги 50 см ва кўндаланг кесим юзаси 3 см^2. Конденсатор қопламаларининг юзаси 75 см^2 дан бўлиб, улар орасидаги 5 мм оралиқ ҳаво билан тўлдирилган. Контурнинг тебраниш даври топилсин. (T = 0,6 мкс.)
4. Тебраниш контури 0,5 нФ сиғимли конденсатор ва 0,4 мГн индуктивликли ғалтакдан иборат. Контурда ҳосил бўладиган тўлқинларнинг тўлқин узунлиги аниқлансин. (λ = 843 м.)

XVIII БОБ. ЭЛЕКТРОМАГНИТ ТЎЛҚИНЛАР

Электромагнит индукция ҳодисасини чуқур таҳлил қилган инглиз физиги Ж. Максвелл электр ва магнит майдонлар ўзаро бир-бирларига боғлиқ деган хулосага келди. Уларнинг бирортасининг ўзгариши иккинчисини вужудга келтиради. Улар ягона электромагнит майдоннинг электр ёки магнит майдонлар кўринишида намоён бўлишидир.

Электромагнит майдон материянинг махсус кўриниши бўлиб, у бизнинг онгимиздан ташқарида мавжуд.

Электромагнит тўлқинлар эса ўзгарувчан электромагнит майдоннинг фазода тарқалишидир.

120- §. Уюрмали электр майдон. Силжиш токи

Мазмуни: уюрмали электр майдон; силжиш токи.

Уюрмали электр майдон. Ўзгарувчан магнит майдонда турган ҳаракатсиз ўтказгичда индукция ЭЮК нинг вужудга келиши ҳақида юқорида фикр юритилган эди. Лекин электр токи вужудга келиши учун заряд ташувчиларни ҳаракатга келтирувчи ташқи кучлар мавжуд бўлмоги керак. Унда мазкур ҳолда электронларни қандай кучлар ҳаракатга келтиради, деган савол туғилади.

Табиийки, бу куч иссиқлик жараёнларига ҳам, кимёвий жараёнларга ҳам боғлиқ эмас. У Лоренц кучи ҳам эмас. Чунки у ҳаракатсиз зарядга таъсир этмайди. Максвелл магнит майдоннинг ҳар қандай ўзгариши электр майдонни вужудга келтиради ва айнан ана шу электр майдон ҳаракатсиз ўтказгич ичидаги электронларни ҳаракатга келтириб, занжирда индукцион ЭЮК нинг пайдо бўлишига сабаб бўлади, деган гипотезани олга сурди.

Демак, электр заряди ҳосил қилган электр майдондан фарқли ўлароқ, магнит майдоннинг ўзгариши натижасида вужудга келадиган электр майдоннинг куч чизиқлари ёпиқ чизиқ характерига эга, яъни уюрмали майдондир.

Максвелл электромагнит индукция ҳодисасини таҳлил қилиб, индукция ЭЮК нинг вужудга келишига сабаб — уюрмали электр майдоннинг вужудга келишидадир, ўтказгич эса иккинчи даражали роль ўйнайди ва бу майдонни қайд қилувчи асбобгина бўлиб хизмат қилади, деган фикрга келди.

Шунинг учун ҳам, электромагнит индукция ҳодисасининг асосий аҳамияти электр токини вужудга келтиришида эмас, балки уюрмали электр майдоннинг вужудга келишини тасдиқлаганлигидадир.

Демак, магнит майдоннинг ҳар қандай ўзгариши уюрмали электр майдонни вужудга келтиради.

Силжиш токи. Агар магнит майдоннинг ҳар қандай ўзгариши уюрмали электр майдонни вужудга келтирса, унда тескариси, яъни электр майдоннинг ўзгариши уюрмали магнит майдонни вужудга келтирмайдими, деган савол туғилади.

Максвелл бу саволга шундай жавоб беради: электр майдоннинг ҳар қандай ўзгариши атрофда уюрмали магнит майдонни вужудга келтириши керак. Ўзгараётган электр майдон ва у вужудга келтирадиган магнит майдон ўртасида миқдорий муносабатни ўрнатиш учун Максвелл **силжиш токи** тушунчасини киритди. Унинг фикрига кўра магнит майдон мавжуд бўлар экан, уни вужудга келтирадиган ток ҳам мавжуд бўлмоги даркор. Шуни таъкидлаш лозимки, силжиш токи электр токи эга бўладиган фақат биттагина хусусиятга, яъни магнит майдон ҳосил қила олиш хусусиятигагина эгадир. У электр токи эга бўлган бошқа бирорта ҳам хусусиятга эга эмас.

Синов саволлари

1. Электромагнит тўлқинлар деб нимага айтилади? 2. Ўзгарувчан магнит майдонда турган ҳаракатсиз ўтказгичда индукция ЭЮК вужудга келадими? 3. Ҳаракатсиз ўтказгич ичидаги зарядларни қандай куч ҳаракатга келтиради? 4. Нима учун бу куч Лоренц кучи бўлолмайди? 5. Максвеллнинг гипотезаси нимадан иборат? 6. Магнит майдон ҳосил қилган электр майдон қандай характерга эга? 7. Электромагнит индукция хоссаси ҳақида Максвелл хулосаси. 8. Электромагнит индукция ҳодисасининг асосий аҳамияти нимадан иборат? 9. Қачон уюрмали электр майдон вужудга келади? 10. Электр майдоннинг ўзгариши нимани вужудга келтиради? 11. Силжиш токи тушунчаси нима мақсадда киритилган? 12. Силжиш токи одатдаги электр токидан нимаси билан фарқ қилади?

121- §. Электромагнит майдон учун Максвелл назарияси

Мазмуни: электромагнит майдон; Максвелл назарияси; Максвелл назариясининг хулосалари; электромагнит майдон энергияси.

Электромагнит майдон. Шундай қилиб, электр ва магнит ҳодисалари бир-бирлари билан боғланганлигига ишонч ҳосил қилдик, энди уларни ягона системага солишга ҳаракат қиламиз. Чиқарадиган хулосаларимиз Максвелл назариясининг асосини ташкил қилади.

Электр майдоннинг уюрмали характери. Электр майдон икки хил майдоннинг йиғиндисидан иборат: уларнинг **биринчиси** потенциал майдон бўлиб $\left(\vec{E}_Q\right)$, бу майдонни электр зарядлари ҳосил қилади. Шунинг учун ҳам бундай майдоннинг куч чизиқлари мусбат заряд-

дан бошланиб, манфий зарядда тугайди. Куч чизиқларининг оқими мавжуд. Уюрмали характерга эга эмас.

Иккинчиси эса потенциал майдон эмас. Уни магнит майдоннинг ўзгариши вужудга келтиради $\left(\vec{E}_B\right)$. Куч чизиқларининг бошланиш ва тугаш нуқталари мавжуд бўлмаганлиги учун ҳам оқими йўқ. Уюрмали характерга эга.

Электр майдон кучланганлиги шу кучланганликларнинг вектор йиғиндисидан иборат.

Ж. Максвелл
(1831—1879)

$$\vec{E} = \vec{E}_Q + \vec{E}_B.$$

Шундай қилиб, **электр майдонни нафақат электр зарядлари, балки магнит майдоннинг ўзгариши ҳам вужудга келтиради.**

Магнит майдоннинг вужудга келиши. Магнит майдон куч чизиқларининг бошланиш ва тугаш нуқтаси бўлмай, улар уюрмали характерга эга бўлади.

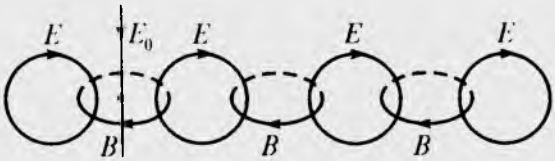
Магнит майдон электр токи (зарядланган зарраларнинг ҳаракати) ёки ўзгарувчан электр майдон томонидан ҳосил қилинади.

Электр майдон куч чизиқларининг оқими. Табиатда электр зарядлари мавжуд. Электр майдон куч чизиқлари заряддан бошланиб, зарядда тугайди. Шунинг учун ҳам электр майдон куч чизиқлари оқимини ҳисоблаш мумкин.

Магнит майдон куч чизиқларининг оқими. Табиатда магнит зарядлари мавжуд эмас. Шунинг учун ҳам магнит майдон куч чизиқларининг оқими мавжуд эмас, яъни у нолга тенг.

Максвелл шу тўртта хулосани мужассамлаштирган тенгламалар системасини тузди. Уларга электромагнит майдон учун Максвелл тенгламалари дейилиб, келгусида бу тенгламалар билан батафсил танишасиз, деган умиддамиз.

Максвелл назариясининг хулосалари. Максвелл назарияси, ўзгарувчан магнит майдон доимо ўзи вужудга келтирадиган электр майдон, ўзгарувчан электр майдон эса доимо ўзи вужудга келтирадиган магнит майдон билан чамбарчас боғлиқ деб таъкидлайди. Электр ва магнит майдонлар бир-бирлари билан чамбарчас боғлиқ ва ягона **электромагнит майдонни** ташкил этади (199-расм).



199- расм.

Максвелл назарияси ўзгарувчан электромагнит майдоннинг фазода чекли тезлик билан тарқалишини, яъни электромагнит тўлқинларнинг мавжудлигини башорат қилди. Кейинчалик эса тажрибалар бу тўлқиннинг фазодаги тезлиги $c = 3 \cdot 10^8$ м/с эканлигини ва ёруғлик ҳам электромагнит тўлқинлардан иборатлигини кўрсатди. Немис физиги Г. Герц электромагнит тўлқинларни тажрибада ҳосил қилди ва уларнинг вужудга келиши, тарқалиши тўлалигича Максвелл назариясига мос келишини кўрсатди.

Электромагнит майдон энергияси. Электромагнит майдон материянинг кўринишларидан биридир. Унинг энергияси электр ва магнит майдон энергияларининг йиғиндисидан иборат:

$$W = W_э + W_м.$$

Шунингдек, электромагнит майдон энергиясининг зичлиги ҳам электр ва магнит майдон энергиялари зичликларининг йиғиндисига тенг:

$$W = W_э + W_м$$

ёки

$$\omega = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2} + \frac{\mu_0 \mu H^2}{2},$$

бу ерда $B = \mu\mu_0 H$.

Синов саволлари

1. Электромагнит ҳодисалари бир-бирига боғлиқми? 2. Электр майдон қандай майдонларнинг йиғиндисидан иборат? 3. Биринчи тур электр майдон қандай вужудга келади ва унинг тавсифлари? 4. Иккинчи тур электр майдон қандай вужудга келади ва унинг тавсифлари? 5. Умумий электр майдон кучланганлиги нимага тенг? 6. Магнит майдон қандай ҳосил қилинади? 7. Электр майдон куч чизиқлари оқими мавжудми? 8. Магнит майдон куч чизиқлари оқими-чи? 9. Максвеллнинг тўртта хулосаси нималардан иборат? 10. Электромагнит майдон учун Максвелл назарияси нимадан иборат? 11. Электромагнит майдон қандай ҳосил бўлади? 12. Электромагнит тўлқинларнинг фазодаги тарқалиш тезлиги нимага тенг? 13. Ёруғлик электромагнит тўлқинларми? 14. Герц тажрибада нимани исботлади? 15. Электромагнит майдон материями? 16. Электромагнит майдон энергияси нимадан иборат? 17. Электромагнит майдон энергияси нимага тенг? 18. Электромагнит майдон энергиясининг зичлиги нимага тенг.

122- §. Электромагнит тўлқинлар ва уларнинг хоссалари

Мазмуни: электромагнит тўлқинлар; тўлқиннинг тарқалиш тезлиги; тўлқин узунлиги; электромагнит тўлқинларнинг хоссалари; электромагнит тўлқинлар шкаласи.

Электромагнит тўлқинлар. Электр майдоннинг ўзгариши натижасида вужудга келадиган магнит майдон индукцияси B электр майдон кучланганлигининг ўзгариш тезлигига пропорционал:

$$B \approx \frac{dE}{dt}.$$

Магнит майдоннинг ўзгариши натижасида вужудга келадиган электр майдон кучланганлиги эса Фарадей қонунига мувофиқ, магнит майдон индукциясининг ўзгариш тезлигига пропорционал:

$$E \approx \frac{dB}{dt}.$$

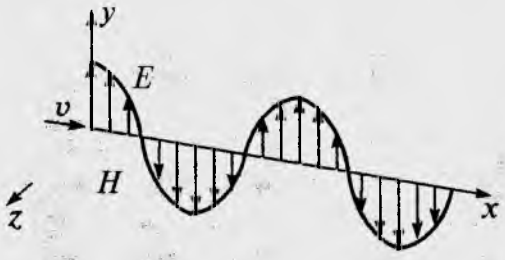
Агар фазонинг бирор нуқтасида уюрмали электр майдон пайдо қилинса, унинг натижасида вужудга келадиган ўзгарувчан магнит майдоннинг куч чизиқлари электр майдон куч чизиқларини концентрик айланалар билан ўраб олади. Шунингдек, магнит майдоннинг ўзгариши натижасида вужудга келадиган уюрмали электр майдоннинг куч чизиқлари ҳам магнит майдон куч чизиқларини ўраб олади ва шундай тарзда давом этади.

Демак, ўзгарувчи электр ва магнит майдонлар ўзаро боғланган ва фазода электромагнит тўлқинлар сифатида тарқалади.

Ўзгарувчи электромагнит майдоннинг фазода тарқалиши электромагнит тўлқинлар дейилади.

Максвелл назариясига асосан **электромагнит тўлқинлар кўндаланг тўлқинлардир,** яъни $\vec{E}$ ва $\vec{B}$ векторлар ўзаро перпендикуляр ва тўлқиннинг тарқалиш тезлиги $\vec{v}$ векторга перпендикуляр текисликларда ётишади (200-расм). Бундан ташқари, электромагнит тўлқинларнинг $\vec{E}$ ва $\vec{B}$ векторлари доимо бир хил фазаларда тебранади, бир пайтда максимумларига эришади, бир пайтда нолга айланишади.

Тўлқиннинг тарқалиш тезлиги. Максвелл назариясига асосан электромагнит тўлқинларнинг тарқалиш тезлиги чекли катталикдир. У электромагнит тўлқин тарқалаётган муҳитнинг электр ва магнит хоссалари билан аниқланади:



200- расм.

$$v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0 \varepsilon \mu}}, \qquad (122.1)$$

Бу ерда ε_0 ва μ_0 электр ва магнит доимийлари; ε ва μ муҳитнинг диэлектрик ва магнит сингдирувчанликлари.

Агар электромагнит тўлқинлар вакуумда тарқалаётган бўлса, унда $\varepsilon = 1$, $\mu = 1$ бўлади. Электромагнит тўлқинларнинг вакуумда тарқалиш тезлигини ҳисоблаймиз:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} = \frac{1}{\sqrt{8{,}85 \cdot 10^{-12}\ \text{Ф/м} \cdot 4\pi \cdot 10^{-7}\ \text{Гн/м}}} = 3 \cdot 10^8\ \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Демак, электромагнит тўлқинларнинг вакуумда тарқалиш тезлиги ёруғликнинг вакуумда тарқалиш тезлиги $c = 3 \cdot 10^8\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$ га тенг.

Тўлқин узунлиги. Электромагнит тўлқиннинг бир тебраниш даврига тенг вақт давомидаги кўчиш масофаси тўлқин узунлиги дейилади.

Агар v — электромагнит тўлқинларнинг бир жинсли муҳитда тарқалиш тезлиги, T — унинг даври, ν — частотаси, λ — тўлқин узунлиги бўлса, унда $\lambda = vT$ ёки $\lambda = v/\nu_0$. Вакуум учун эса $\lambda_0 = cT$ ёки

$$\lambda_0 = \frac{c}{v} \qquad (122.2)$$

бўлади.

Тўлқиннинг тарқалиш тезлиги муҳитни характерловчи катталиклар ε ва μ ларга боғлиқ бўлганлиги учун ҳам, бир муҳитдан иккинчисига ўтганда v ва λ ўзгаради, тўлқин частотаси эса ўзгармай қолади. Агар тўлқин вакуумдан диэлектрик ε ва магнит μ киритувчанликли муҳитга ўтса, унинг тўлқин узунлиги камаяди:

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\varepsilon\mu}},$$

бу ерда λ_0 — вакуумдаги тўлқин узунлиги.

Электромагнит тўлқинларнинг хоссалари. Электромагнит тўлқинлар кўндаланг тўлқинлар эканлигини таъкидлаб ўтдик. Улар вакуумда, ёруғликнинг вакуумдаги тезлигига тенг $c = 3 \cdot 10^8\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$ тезлик билан ҳаракатланади. Электромагнит тўлқинларнинг тезлиги, тўлқин узунлиги муҳитнинг хусусиятларига боғлиқ. Электромагнит тўлқиннинг частотаси эса барча муҳитлар учун бир хил катталикдир. Шунингдек, ёруглик тўлқинлари каби тўсиқдан қайтади, муҳитлар чегарасида синади, интерференцияга киришади ва ҳоказолар.

Бошқача айтганда, электромагнит тўлқинларнинг барча хоссалари ёруғликнинг хоссаларига ўхшаб кетади. Демак, бундан шундай хулосага келиш мумкин: **ёруғлик нури электромагнит тўлқинлардан иборатдир.** Кейинги тажрибалар шуни кўрсатдики, фақат ёруғлик нури эмас, балки инфрақизил, ультрабинафша, рентген ва гамма нурлари ҳам электромагнит табиатга эгадир.

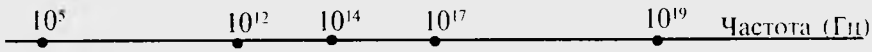
Электромагнит тўлқинлар шкаласи. Демак электромагнит тўлқинлар жуда кенг диапазонда бўлиб, бир-биридан ҳосил қилиниш усуллари, қайд қилиниш усуллари, частоталари ва баъзи хоссалари билан фарқ қилади. Турли электромагнит тўлқинларнинг чегаралари анча шартли бўлиб, улар вакуумда бир хил тезлик билан тарқалади.

14- жадвал.

Электромагнит тўлқинларнинг баъзи турлари

Нурланиш	Тўлқин узунлиги, м	Тўлқин частотаси, Гц	Нурланиш манбаи
Радиотўлқинлар	$10^3 - 10^{-4}$	$3 \cdot 10^5 - 3 \cdot 10^{12}$	Тебраниш контури Герц вибратори Массали нур тарқатувчи Лампали генератор
Ёруғлик тўлқинлари			
Инфрақизил нурланиш	$5 \cdot 10^{-4} - 8 \cdot 10^{-7}$	$6 \cdot 10^{11} - 3{,}75 \cdot 10^{14}$	Лампалар, лазерлар
	$8 \cdot 10^{-7} - 4 \cdot 10^{-7}$	$3{,}75 \cdot 10^{14} - 7{,}5 \cdot 10^{14}$	
Ультрабинафша	$4 \cdot 10^{-7} - 10^{-9}$	$7{,}5 \cdot 10^{14} - 3 \cdot 10^{17}$	
Рентген нурлари	$2 \cdot 10^{-9} - 6 \cdot 10^{-12}$	$1{,}5 \cdot 10^{17} - 5 \cdot 10^{19}$	Рентген трубкаси
γ –нурлар	$<6 \cdot 10^{-12}$	$>5 \cdot 10^{19}$	Радиоактив парчаланиш Ядро жараёнлари Космик жараёнлар

Электромагнит тўлқинлар шкаласи



Радиотўлқинлар, оптик диапазон, рентген нурлари, γ-нурланиш:

Синов саволлари

1. Магнит майдон индукцияси электр майдон кучланганлигининг ўзгаришига боғлиқми? 2. Электр майдон кучланганлиги-чи? 3. Электромагнит тўлқинлар қандай вужудга келади? 4. Электромагнит тўлқинлар деб қандай тўлқинларга айтилади? 5. Электромагнит тўлқинларда E ва B векторлар қандай жойлашган? 6. Электромагнит тўлқинларнинг E ва B векторларининг фазалари мос келадими? 7. Максвелл назариясига асосан электромагнит тўлқинларнинг тезлиги қандай аниқланади? 8. Электромагнит тўлқинларнинг вакуумда тарқалиш тезлиги қанча? 9. Тўлқин узунлиги деб нимага айтилади? 10. Тўлқин узунлиги қандай аниқланади? 11. Тўлқиннинг тарқалиш тезлиги муҳитга боғлиқми? Тўлқин узунлиги. 12. Вакуумдаги ва муҳитдаги тўлқин узунликлари қандай боғланган? 13. Тўлқин частотаси муҳитга боғлиқми? 14. Электромагнит тўлқинларнинг қандай хоссаларини биласиз? 15. Электромагнит тўлқинларнинг қандай хоссалари ёруғлик тўлқини хоссаларига ўхшайди? 16. Ёруғлик электромагнит тўлқинлар эмасми? 17. Яна қандай нурлар электромагнит табиатга эга? 18. Электромагнит тўлқинлар нималари билан фарқ қилади? 19. Барча тўлқинларнинг тарқалиш тезликлари бир хилми? 20. Электромагнит тўлқинларнинг тўлқин узунлиги, частотаси ва нурланиш манбаини таҳлил қилинг.

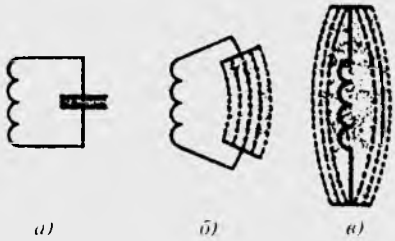
123- §. Герц вибратори. Очиқ тебраниш контури

ГЕНРИХ ГЕРЦ (1857 — 1894)

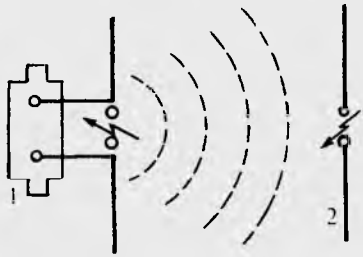
Мазмуни: тебраниш контури; очиқ тебраниш контури.

Тебраниш контури. Умуман олганда, ўзгарувчан электр токи оқаётган исталган тебраниш контури ёки ўтказгич электромагнит тўлқинлар манбаи бўлиб хизмат қилиши мумкин, чунки электромагнит тўлқинларни уйготиш учун электромагнит майдонни вужудга келтириш кифоя. Лекин нурланиш сезиларли бўлиши учун эса электромагнит майдон ҳосил қилинадиган ҳажмни орттириш тақозо қилинади. Шунинг учун ҳам 185-расмда кўрсатилганга ўхшаш ёпиқ тебраниш контурлари электромагнит тўлқинларни ҳосил қилиш учун яроқсиздир. Чунки бундай контурда электр майдон конденсатор қопламлари орасида, магнит майдон эса индуктив ғалтак ичида мужассамлашган бўлади.

Очиқ тебраниш контури. Демак, электромагнит майдоннинг фазода тарқалишига имкон яратиш учун майдон ҳосил бўладиган фазони орттиришимиз керак. Бунга қандай эришиш мумкин. Бунинг ягона йўли — конденсатор қопламалари орасидаги масофани ортти-



201- расм.



202- расм.

ришдир. Немис физиги Г. Герц айнан шундай йўл тутди. У ғалтакдаги ўрамлар сонини ва конденсатор пластинкалари юзасини камайтирди ва конденсатор қопламларини бир-биридан узоқлаштириб (201- *а,б* расмлар), учқун ҳосил қилувчи бўшлиқ билан ажратилган иккита таёқчадан иборат система ҳолига келтирди. Натижада ёпиқ тебраниш контуридан очиқ тебраниш контурини (Герц вибраторини) ҳосил қилди (201- *в* расм). Очиқ тебраниш контурида электромагнит майдон контурни ўраб турган бўшлиқда мужассамлашган бўлади ва шунинг учун ҳам электромагнит нурланишнинг интенсивлиги кескин ортади. Бундай системада тебраниш, конденсатор қопламаларига уланган ЭЮК манбаи ҳисобидан қувватлаб турилади. Учқунли бўшлиқ эса конденсатор қопламалари орасидаги потенциаллар фарқини дастлаб зарядланган потенциаллар фарқигача орттириш учун ишлатилади.

$\nu = \frac{1}{T}$ ва $T = 2\pi\sqrt{L \cdot C}$ бўлганлигидан L ва C нинг камайиши билан тебраниш частотаси ортади. Бу вибраторда энди ўзгарувчи электр майдон конденсатор ичида мужассамлашган бўлмай, балки вибраторни ташқи томондан ўраб туради. Натижада электромагнит нурланишнинг интенсивлиги кескин ортади. Герц 1-очиқ вибратор тарқатадиган электромагнит тўлқинларни шу тўлқинлар частотасига мосланган 2-вибратор (резонатор) ёрдамида қайд этди (202-расм).

Электромагнит тўлқинлар 2- вибраторга етганда унда электромагнит тебранишлар вужудга келади ва учқунли оралиқда учқун чақнаши рўй беради. Электромагнит тўлқинларнинг қайд қилиниши ва чақнаш рўй бериши электромагнит тўлқинлар энергия ташишини кўрсатади. Герц вибратор ва резонатордан фойдаланиб, электромагнит тўлқинлар бошқа тўлқинларга хос бўлган хусусиятларга ҳам эга эканлигини кўрсатди.

Герц вибратори ёрдамида 0,6 дан 10 м гача тўлқин узунликли ясси тўлқинлар ҳосил қилинди ва электромагнит тўлқинлар кўндаланг тўлқинлар эканлиги кўрсатилди. Герц тургун электромагнит тўлқинларни ҳосил қилди ва улар ёрдамида электромагнит тўлқинларнинг тезлигини аниқлаб, унинг ёруғлик тезлиги билан мос келишини кўрсатди.

Синов саволлари

1. Электромагнит тўлқинлар манбаи қандай бўлади? 2. Электромагнит тўлқинларни тарқатиш учун нимани вужудга келтириш керак? 3. Нима учун ёпиқ тебраниш контури электромагнит тўлқинлар ҳосил қилиш учун яроқсиз ҳисобланади? 4. Электромагнит майдон фазода тарқалиши учун қандай шароит бўлиши керак? 5. Очиқ тебраниш контури, яъни Герц вибраторини ҳосил қилиш учун нима қилиш керак? 6. Очиқ тебраниш контурида электромагнит майдон қаерда мужассамлашган бўлади? 7. Очиқ тебраниш контурининг иш принципи? 8. Электромагнит тўлқинлар қандай қабул қилинади? 9. Электромагнит тўлқинлар энергия ташийдими? Буни қандай билиш мумкин? 10. Герц вибраторида қандай тўлқинлар ҳосил қилинди? 11. Герц ўз тажрибаларида нималарни аниқлади? 12. Электромагнит тўлқинларнинг тарқалиш тезликлари ёруғлик тезлигига тенгми?

124-§. Радионинг кашф этилиши. Радиоалоқа ҳақида тушунча

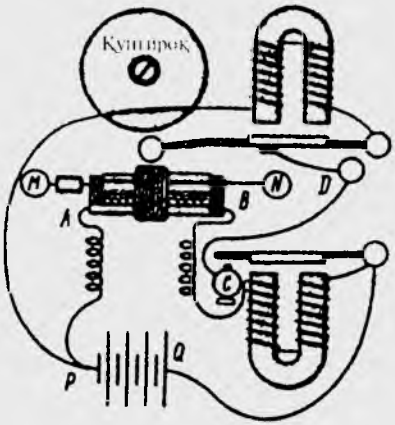
Мазмуни: биринчи радиоприёмник; кейинги изланишлар; радиоалоқа ҳақида тушунча; радиотелефон алоқа.

А.С. Попов
(1859 — 1906)

Биринчи радиоприёмник. Узоқ масофаларга сигнал узатишда электромагнит тўлқинлардан фойдаланиш ғояси А. С. Попов (1859 — 1906) томонидан 1889 йилда биринчи бўлиб айтилган. Унинг ўзи 1895 йилда биринчи радиоприёмнигини ясади ва намойиш қилди.

Попов ўз радиоприёмнигида электромагнит тўлқинларни сезувчи деталь сифатида **когеррердан** фойдаланди. Когеррер, қайд этувчи аппарат электр қўнғироқни энергия билан таъминловчи манбани бошқариш учун ишлатилган. Биринчи радиоприёмникнинг схемаси 203-расмда кўрсатилган. *M* антенна орқали қабул қилинган электромагнит тебранишлар *AB* когеррерга келади. Бу асбоб иккита электродли шиша найчадан иборат. Найча ичига металл қиринди солинган бўлиб, унинг иш принципи электр зарядларининг металл кукунига кўрсатадиган таъсирига асосланган. Кукуннинг қаршилиги жуда катта бўлиб, одатдаги шароитда ундан ток ўтмайди, чунки металл қириндилар бир-бирларига ёпишиб турмайди. Лекин когеррерга электромагнит тўлқинлар келганда, қириндилар гўёки бир-бирларининг орқаларидан «улашиб» қолади ва қаршилик камайиб, улар орқали ток ўтади.

«Когеррер» сўзининг ўзи лотинча «когиринцио» сўзидан олинган бўлиб, «улашиш» деган маънони англатади. (Поповнинг тажри-



203- расм.

баларида қаршилик 100 000 Ом дан 1000 — 500 Ом гача (яъни 100 — 200 марта) камайган. Когеррер силкитилса, унинг қаршилиги яна тикланади ва ундан яна ток ўтмайди. Демак, электромагнит тўлқинлар когеррернинг қаршилигини ўзгартириб, уни электр токини ўтказадиган қилади. Натижада якорни тортувчи реле чулғамидан ток оқиб, контакт С ёпилади. Якорь реле контактини ёпиб, токнинг қўнғироқ чулғамидан оқишига имкон беради. Қўнғироқ ўз якорчасини тортади ва болғача урилиб, товуш эшитилади. Шу пайтнинг ўзида қўнгироқ контакти *D* занжирни узади ва қўнгироқ орқали ток оқиши тўхтайди. Қўнғироқ якори когеррерга урилиб, унинг қаршилигини оширади ва дастлабки ҳолатига қайтади. Приёмник электромагнит тўлқинларни яна қабул қилишга тайёр бўлади. 1895 йил 7 майда А.Попов ўз ихтиросини намойиш қилди ва шу кун радионинг туғилган куни бўлиб қолди.

Кейинги изланишлар. Радиоприёмникнинг сезгирлигини ошириш учун А.С. Попов когеррердан чиққан симлардан бирини ерга, иккинчисини эса баланд кўтарилган ўтказгич бўлагига улади. Шундай қилиб, дунёда биринчи қабул қилиш антеннаси яратилди. Когеррернинг битта симини ерга улаш эса Ернинг ўтказувчи сиртини очиқ тебраниш контурининг бир қисмига айлантириб, қабул қилиш масофасини оширди.

Биринчи радиоалоқа атиги 250 м масофада ўрнатилган эди. Попов ўз кашфиётини такомиллаштириб, тез орада бу масофани 600 м га етказди. 1899 йилда эса алоқа ўрнатилган масофа 20 км гача узайтирилди. 1901 йилда эса радиоалоқа масофаси 150 км га етказилди. Ҳозирги замон радиоприёмникларининг иш принципи ҳам Попов радиоприёмнигидан фарқ қилмайди. Замонавий радиоприёмниклар ҳам кучсиз электромагнит тебранишларни антенналари орқали қабул килишади. Бу сигналлар занжирларни таъминловчи энергия манбаларини бошқаради, холос. Ҳозирги пайтда бундай бошқарув электрон лампалар ва транзисторлар ёрдамида амалга оширилади.

Радиоалоқа ҳақида тушунча. Радиоалоқанинг иш принципи қуйидагича. Узатувчи антеннада юзага келтирилган юқори частотали ўзгарувчан ток атрофидаги фазода ўзгарувчан электромагнит майдон вужудга келтирилади. Бу майдон эса электромагнит тўлқин тарзида тарқалади. Тўлқин қабул қилувчи антеннага етганидан сўнг, унда узатувчи станция частотасига тенг частотали ўзгарувчан ток ҳосил қилинади.

1913 йилда сўнмас электромагнит тебранишлар генераторининг кашф қилиниши радиоалоқанинг ривожланишига катта туртки бўлди. Бу генератор юқори сифатли радиоалоқа — нутқ ва музикани электромагнит тўлқинлар ёрдамида узатиш имкониятини яратди.

Радиотелефон алоқа. Радиотелефон алоқа ҳам шунга ўхшаш принципда ишлайди. Товуш тўлқинларининг босими натижасида микрофон мембранаси тебранма ҳаракатга келади ва товуш тебранишлари шаклидаги электр тебранишлари вужудга келади. Аммо бу тўлқинларни узоқ масофага узатишнинг иложи йўқ. Чунки товуш частотасидаги тебранишлар жуда кучсиз тебранишлар бўлиб, бундай частотадаги электромагнит тебранишлар тарқалмайди. Шунинг учун ҳам улар тарқатишдан олдин модуляцияланади.

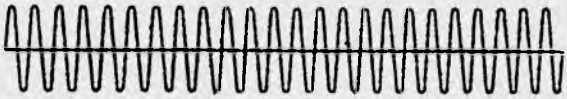
Синов саволлари

1. А. С. Поповнинг гояси нимадан иборат бўлган? 2. У ўзининг биринчи радиоприёмнигини қачон ясаган ва намойиш қилган? 3. А.С. Попов электромагнит тўлқинларни сезувчи асбоб сифатида нимадан фойдаланган? 4. Когеррердан нима мақсадда фойдаланилган? 5. Биринчи радиоприёмникнинг иш принципини тушунтириб беринг. 6. Когеррер қандай тузилишга эга? 7. Когерреррга электромагнит тўлқинлар келганда қандай жараён рўй беради? 8. Когеррер сўзи қандай маънони англатади? 9. Попов тажрибаларида унинг қаршилиги қанча камайган? 10. Радиоприёмникнинг сезгирлигини ошириш учун Попов қандай иш тутган? 11. Биринчи радиоалоқа қанча масофада ўрнатилган? 12. Кейингилари-чи? 13. Ҳозирги радиоприёмниклар Попов радиоприёмнигига нимаси билан ўхшайди, нима фарқлари бор? 14. Радиоалоқанинг иш принципи? 15. Радиотелефон алоқа нима?

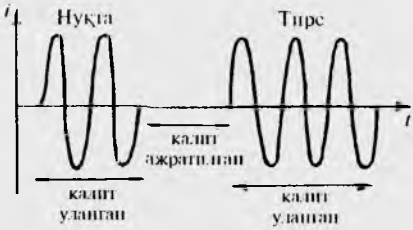
125-§. Модуляция ва детекторлаш

М а з м у н и: радиотўлқинларни узатиш; модуляция; модуляция жараёнининг амалга оширилиши; радиоприёмник; детекторлаш; замонавий радиоузаткич ва радиоприёмник; энг оддий радиоприёмник.

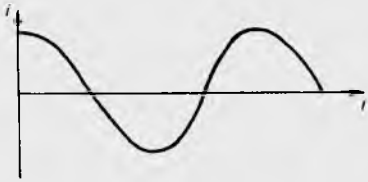
Радиотўлқинларни узатиш. Замонавий радиоузаткичнинг асосини вакуумли лампа ёки транзисторда терилган сўнмас тебранишлар генератори ташкил қилади. Генератор «элтувчи» дейилгувчи юқори частотали тебранишларни ҳосил қилади (204-расм). Агар узаткич шундай кўринишдаги сўнмас синусоидал тўлқинларни узатса, унда қабул қилувчи антенна ҳам ҳеч қандай информацияга эга бўлмаган гармоник тебранишларни қайд қилади. **Бирор маълумотни, масалан, нутқ ёки мусиқани узатиш учун эса юқори частотали тебранишларнинг характерини, айтайлик, амплитудасини ўзгартириш керак. Бу жараён модуляция дейилади.**



204- расм.

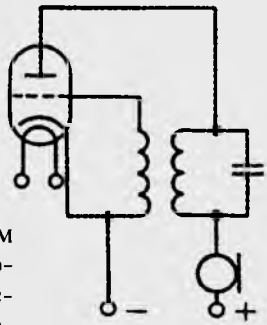


205- расм.



206- расм.

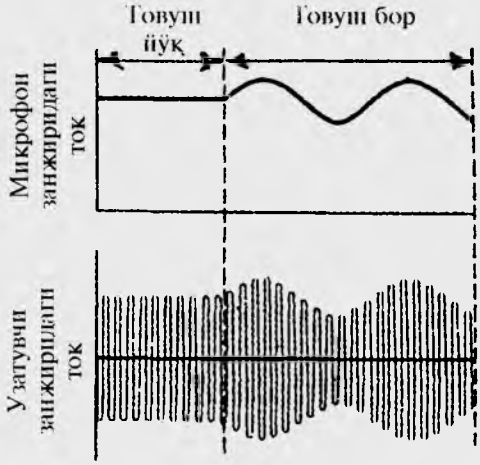
207- расм.



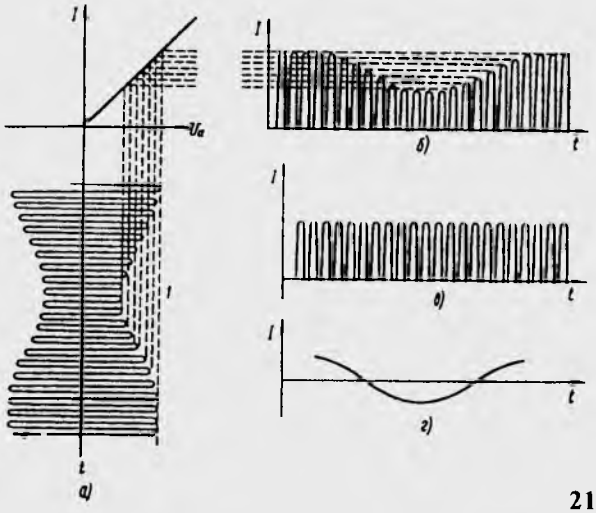
208- расм.

Модуляция. Модуляциясиз бирорта ҳам алоқани телеграф, телефон, телевизион алоқани амалга ошириб бўлмайди. Масалан, телеграф модуляцияси калит ёрдамида нурланишни кесишга, яъни қисқа (нуқта) ва узун (тире) (Морзе алифбоси асосида) маълумотларни узатишга асосланган (205-расм). Шунингдек, бирор товуш частотасидаги тебранишлар (206-расм) берилган бўлсин. Бу тебранишларга *модуляцияланувчи тебранишлар* дейилади. «Элтувчи» тебранишлар товуш частотасидаги тебранишлар ёрдамида ўзгартирилади, яъни товуш тебранишлари модуляцияланади. Модуляцияланган тебранишларнинг кўриниши 207-расмда кўрсатилган. Модуляциялаш ҳам икки хил бўлади. Масалан, биз юқорида кўрганимиздек, юқори частотали тебранишлар амплитудасини товуш частотасидаги тебранишлар билан ўзгартириш мумкин. Бундай модуляция *амплитуда модуляцияси* дейилади. Шунингдек, «элтувчи» тебранишлар частотасини мослаб ўзгартириш усулидан ҳам фойдаланилади. Бу усул *частота модуляцияси* дейилади.

Модуляция жараёнининг амалга оширилиши. Доимий тебранишлар генератори занжирига товуш тебранишларини узатиш учун микрофон уланади (208-расм). Тушаётган товуш тўлқинларининг таъсирида микрофоннинг қаршилиги ва натижада трансформаторнинг биринчи чулғамидаги ток ҳам ўзгаради. Бу эса трансформаторнинг иккинчи чулғамида ўзгарувчан ЭЮК нинг вужудга келишига ва



209- расм.



210- расм.

демак, лампанинг тўрига товуш частотасидаги ўзгарувчан кучланиш берилишига олиб келади. Шу лампа томонидан контурда вужудга келтирилаётган юқори частотали тебранишлар частотаси тўрдаги паст частотали кучланишга мослашиб ўзгаради. Натижада антенна тарқатаётган радиотўлқинларнинг интенсивлиги ҳам ўзгаради.

Товуш бўлмаганда микрофон занжиридан ўзгармас ток оқади (209-расм). Товуш тебранишларининг пайдо бўлиши билан микрофон занжиридаги ток ўзгаради. Шунда юқори частотали тебранишлар амплитудаси товуш тебранишлари қонуниятларига мувофиқ ўзгаради, яъни амплитуданинг модуляцияси рўй беради.

Радиоприёмник. Радиоприёмник, асосан, қуйидаги элементлардан ташкил топган бўлади: антенна, тебраниш контури, кучайтиргич, детектор (қайд қилгич), радиокарнай. Радиоприёмникнинг антеннасига бир пайтнинг ўзида кўплаб станциялардан тарқатилаётган модуллаштирилган сигналлар келади. Уларнинг орасидан айнан бизни қизиқтираётган маълумотни ажратиб олиш учун тебраниш контуридан фойдаланилади. Контурда ўзгарувчан сиғимли конденсатор киритилган бўлиб, унинг сиғимини ўзгартириш билан контурнинг хусусий частотасини ўзгартириш мумкин. Приёмник контурини қабул қилинадиган электромагнит тебранишлар билан резонансга мослаштириш шу тариқа амалга оширилади. Натижада, тебраниш контурида юқори частотали модуллаштирилган кучсиз ток пайдо бўлади (210- *а* расм). Бу ток олдин кучайтиргичга, кейин эса детекторга келади. Детекторланган ток радиокарнайга узатилади ва микрофонга тушган товуш тўлқинлари тарқатилади, яъни микрофонга айтилган товуш эшитилади.

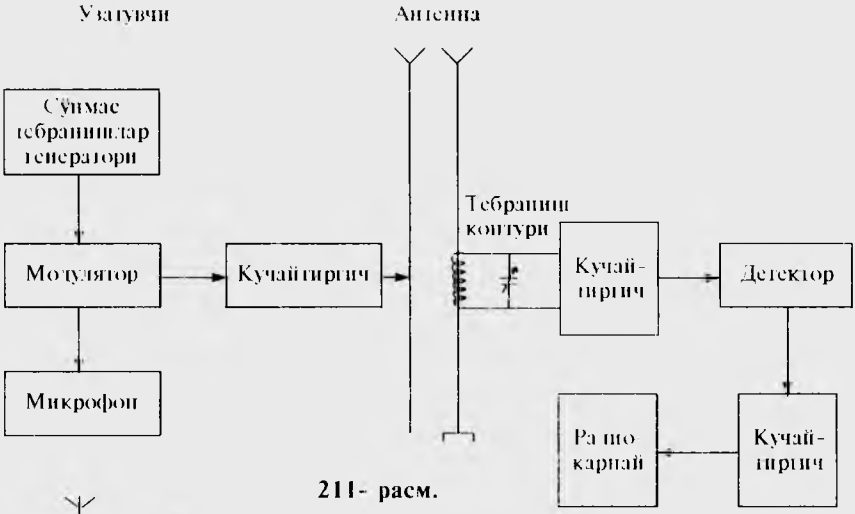
Детекторлаш. Детекторлаш деб, юқори частотали элтувчи тебранишлардан товуш тебранишларини ажратиб олиш жараёнига айтилади.

Детекторда юқори частотали элтувчи ва товуш тебранишларининг ажратилиши, яъни детекторлаш рўй беради. Детектор вазифасини бир томонлама ўтказиш хусусиятига эга бўлган икки электродли электрон лампа ёки ярим ўтказгичли диод бажариши мумкин. Диоддан ўтган юқори частотали модуллашган ток узилиб-узилиб оқади (210- *б* расм). Паст частотали сигналли параллел уланган конденсатор ва қаршиликдан иборат фильтр ажратиб беради. Паст (товуш) частотали ток учун конденсаторнинг қаршилиги жуда катта бўлади ва шунинг учун у қаршилик орқали оқади (210- *г* расм). Юқори частотали ток эса конденсатор орқали оқади (210- *в* расм).

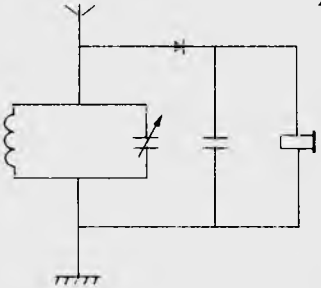
Замонавий радиоузатгич ва радиоприёмник. Замонавий радиоузатгич ва радиоприёмникнинг иш схемаси 211- расмда келтирилган.

Сўнмас тебранишлар генератори юқори частотали тебранишларни ҳосил қилади. Айни пайтда товуш тебранишлари микрофон ёрдамида электр тебранишларига айланади. Ҳар иккала тебраниш ҳам модуляторга узатилади. Модуляторда амплитуда ёки частотанинг модуляцияси амалга ошади. Гапни ва мусиқани узатиш учун модуляция товуш частоталари $(10 \div 13) \cdot 10^3$ Гц да амалга оширилади. Модуляцияланган тебранишлар кучайтирилиб, электромагнит тўлқинларни эфирга тарқатувчи очиқ тебраниш контури бўлган антеннага узатилади.

Қабул қилувчининг антеннасига етиб келган электромагнит тўлқинлар тебраниш контурида электромагнит тебранишларни вужудга келтиради. Сўнгра бу тебранишлар кучайтирилади ва детекторланади. Ажратилган паст частотали тебранишлар яна кучайтирилиб, радиокарнайга узатилади.



211- расм.



212- расм.

Энг оддий радиоприёмник. Энг оддий радиоприёмникнинг схемаси 212- расмда кўрсатилган. У антенна, тебраниш контури, детектор, конденсатор ва телефондан тузилган занжирдан иборат.

Синов саволлари

1. Радиоузатгичнинг асосини нима ташкил қилади? 2. Сўнмас тебранишлар генератори нима вазифани бажаради? 3. «Элтувчи» тебранишлар деб қандай тебранишларга айтилади? 4. Модуляция деб нимага айтилади? 5. Модуляциясиз радиолокатор ўрнатиш мумкинми? 6. Модуляцияланувчи тебранишлар деб қандай тебранишларга айтилади? 7. Товуш тебранишлари қандай қилиб модуляцияланади? 8. Модуляциянинг турлари. 9. Модуляциялаш жараёни. 10. Амплитудавий модуляция жараёни? 11. Радиоприёмникда тебраниш контури нимага керак? 12. Контурдаги ўзгарувчан сиғимли конденсаторнинг вазифаси нимадан иборат? 13. Контурда қабул қилинган тебранишлар микрофонгача қандай жараёнлардан ўтади? 14. Детекторлаш деб нимага айтилади? 15. Диод қандай вазифани бажаради? 16. Товуш тебранишларини нима ажратиб беради? 17. Ажратиш жараёнини тушунтиринг. 18. Замонавий радиоприёмникда товуш қайси частоталарда модуляцияланади? 19. Радиотўлқинларни тарқатиш ва қабул қилиш жараёнини тушунтиринг. 20. Энг оддий радиоприёмникнинг иш принципини тушунтиринг.

126- §. Телекўрсатувларнинг физик асослари. Тошкент — телевидение ватани

Мазмуни: телекўрсатувларнинг физик асослари; телекўрсатувларни йўлдош орқали узатиш ва қабул қилиш; Тошкент — телевидение ватани.

Телекўрсатувларнинг физик асослари. Телекўрсатувларни амалга ошириш принципи радиоэшиттиришлар схемасидан унча катта фарқ қилмайди. Фарқи шундан иборатки, узатувчи қурилмада юқори частотали тебранишлар фақат товуш сигналлари билан эмас, балки тасвир сигналлари билан ҳам модуллаштирилади. Нарсаларнинг тасвирларини электр сигналларига айлантириш иконоскоп деб аталувчи электрон нурли трубка ёрдамида амалга оширилади.

Иконоскопдан олинадиган электр тебранишлар радиоузатувчига узатилади ва улар тарқатилаётган тўлқинларни, товуш узатганда микрофон занжиридаги ўзгарувчан ток радиотўлқинларни қандай модуллаштирган бўлса, худди шундай усулда модуллаштиради.

213- расм.

Қабул қилувчида олинган сигналларни кўринувчи тасвирга айлантириш вакуумли электрон-нурли трубка — кинескоп ёрдамида амалга оширилади. Электрон даста узатгичда қандай ҳаракат қилган бўлса, кинескопдаги электрон даста ҳам экранда худди шундай ҳаракатни такрорлайди.Телекўрсатувлар сигналларини узатиш ультрақисқа тўлқинлар диапазонида амалга оширилади. Бу сигналларни қабул қилиш тўғридан-тўғри кўриш чегарасида амалга оширилади. Масалан, баландлиги 540 м «Останкино» телеминораси 130 км га телекўрсатувларнинг ишончли қабулини таъминлай олади. 1985 йилда қуриб битирилган, баландлиги 375 м бўлган Тошкент телеминораси эса телекўрсатувларни 100 км га таъминлайди (213-расм).

Телекўрсатувларни йўлдош орқали узатиш ва қабул қилиш. Телекўрсатувларни узоқ масофаларга узатиш учун махсус қурилмалар (ретранслятор) дан фойдаланилади. Алоқа йўлдошларидан фойдаланиш эса телекўрсатувларни Ер шарининг исталган нуқтасига узатишга ва

қабул қилишга имкон беради. Сигналлар йўлдошга узатилади, йўлдош эса уларни белгиланган майдондаги антенналарга йўллайди. Бундай йўлдошлар, одатда, геостационар орбиталарда фаолият кўрсатади. Масалан, ҳозир Россиянинг шу орбитада фаолият кўрсатаётган ўндан ортиқ йўлдошлари мавжуд. Бу йўлдошларда 70 та узаткич (транслятор) бўлиб, уларнинг 50 таси телекўрсатувларни узатишга ажратилган. Шуни таъкидлаш лозимки, йўлдошни космоснинг бирор нуқтасида жойлаштириш учун электр алоқанинг халқаро уюшмасидан рухсатнома олинади.

Тошкент — телевидение ватани. Тошкент — телевидение ватани эканлигини ҳамма ҳам билмаса керак. Замонавий телевизорларнинг биринчи намунаси айнан ватанимизда ихтиро қилинган. 1928 йилда тошкентлик ихтирочилар Б. Грабовский ва И. Белянскийлар электрон нур ёрдамида ҳаракат қилаётган тасвирни бир жойдан иккинчи жойга узатадиган ва қабул қиладиган аппарат — «радиотелефон»ни яратдилар. 1928 йил 4 августда бу содда «телевизор» жамоатчиликка ишлаб турган ҳолда намойиш қилинди. Афсуски, бу ихтирога ўз пайтида тегишли эътибор берилмади. Ўзбекистонда телевизион кўрсатувлар расман 1956 йил 5 ноябрда бошланди. Ҳозир энг замонавий техник воситалар билан жиҳозланган Ўзбекистон телевидениясі беш дастурда ишлайди.

Синов саволлари

1. Телекўрсатувларни амалга ошириш принципи радио эшиттиришлар схемасига ўхшайдими? 2. Уларнинг фарқи нимада? 3. Тасвирлар қандай қилиб электр сигналларига айлантирилади? 4. Иконоскопдан олинган электр тебранишлари қаерга узатилади? 5. Қабул қилинган сигналларни қандай қурилма кўринувчи тасвирга айлантириб беради? 6. Телекўрсатувлар қандай тўлқинлар диапазонида амалга оширилади? 7. Останкино телеминорасининг баландлиги қанча ва қанча масофага телекўрсатувларнинг ишончли қабулини таъминлай олади? 8. Тошкент телеминораси-чи? 9. Тошкент телеминорасининг баландлиги қанча ва қачон ишга туширилган? 10. Телекўрсатувлар узоқ масофаларга қандай узатилади? 11. Телекўрсатувларни узатишда сунъий йўлдошлардан ҳам фойдаланиш мумкинми? 12. Телекўрсатувларни йўлдош орқали узатиш қандай амалга оширилади? 13. Бундай йўлдошлар қаерга жойлаштирилади? 14. Замонавий телевизорларнинг биринчи намунаси қаерда ихтиро қилинган? 15. Ихтирочилар кимлар бўлган? 16. «Содда телевизор» қачон намойиш қилинган. 17. Ўзбекистонда телевизион кўрсатувлар расман қачон бошланган? 18. Ҳозир Ўзбекистон телевидениесининг нечта дастури ишлайди?

127- §. Электромагнит тўлқинларнинг фойдаланилиши

Мазмуни: радиолокация; радиоастрономия.

Радиолокация. Радиотўлқинлар ёрдамида нарсаларнинг турган жойини аниқлаш, уларгача бўлган масофани ўлчаш усули ***радиолокация*** дейилади. Радиолокация ўрганилаётган нарсадан қайтган ультрақисқа тўлқинларни қайд этишга асосланган. Радиолокатор (радар) умумий антеннага эга бўлган радиопередатчик ва радиоприёмниклардан иборат бўлиб, қабулдан узатишга ўтказувчи мослама билан таъминланган. Антенна, радионур — қатъий йўналтирилган нурланиш ҳосил қилади. Нурланиш 10^{-6} с давом этадиган қисқа импульслар кўринишида амалга оширилади. Нурланиш импульси чиқарилгандан сўнг антенна автоматик равишда ўрганилаётган нарсадан қайтган электромагнит тўлқинларни қабул қилиш режимига ўтади. Радиосигнал жўнатилган ва қайтган вақтлар қайд этилиб, нарсагача бўлган масофа ёки унинг ҳаракат тезлиги аниқланади.

Радиолокация ва шу усулда ишловчи асбоблар ҳам ҳарбий, ҳам тинч мақсадларда кенг қўлланилади. Улар ёрдамида ҳаво ва денгиз кемалари ҳаракатини бошқарин вазифалари ва бошқа сайёраларгача бўлган масофаларни аниқлаш, метеорит ва бошқа фазовий жисмларнинг ҳаракатини кузатиш каби ишлар амалга оширилади.

Радиоастрономия. Астрономиянинг осмон жисмларининг чиқарадиган хусусий радионурларига асосан ўрганадиган бўлими — радиоастрономия дейилади. Радиоастрономик кузатишлар радиотелескоплар ёрдамида амалга оширилади. Радиотелескоп антенна ва кучайтиргичли сезгир радиоприёмникдан иборат. Ер сиртидаги кузатиш, нурланиш тўлқин узунлигининг ўнлаб метрдан токи миллиметргача оралиғида олиб борилади. Тўлқин узунлиги янада каттароқ бўлган нурлар космосда кузатилади.

Радиотелескопнинг энг кўп тарқалган тури парабола шаклидаги (диаметри 100 метргача) ойнасимон антеннали телескопдир. Антеннага тушадиган нурларнинг параллел дастаси фокусда жойлашган антенна нурланувчисига тушади. Бундай телескоп тўлқин узунликлари сантиметр ва ҳаттоки миллиметргача бўлган радионурланишларни ҳам қайд қила олади. Энг катта радиотелескоплардан бири Кавказда жойлашган РАТАН — 600 телескопидир. У 900 та 7,4 × 2м ли қайтаргичлардан иборат бўлиб, 588 м диаметрли ҳалқа сифатида жойлаштирилган.

Радиоастрономияда нурланиш манбалари бўлиб, галактика , юлдузлараро галактик муҳит, юлдузлар, қуёш, сайёралар, ой ва бошқалар хизмат қилади.

1963 йилда радиоастрономлар янги юлдузсимон объектлар — квазарларни (лотинча «юлдузсимон радиоманба») очишди. Фанга маълум бўлган пульсарлардан бири қисқичбақасимон туманлигида қайд этилган.

Замонавий изланишлар фазовий нурланиш манбаларини (нейтрон юлдузлар, квазарлар ва ҳоказо) эмас, балки уларнинг спектрларини ҳам ўрганишга имкон берди. Кўплаб кимёвий элементларнинг, органик ва ноорганик молекулаларнинг спектрлари ўрганилди ва улар асосида юлдузлар ва сайёралар системасининг вужудга келиш жараёнлари таҳлил қилинди. Бундай текширишлар ҳамон давом этмоқда.

Электромагнит тўлқинларнинг қўлланилиши билан боглиқ бўлган яна кўплаб фанлар ва фан бўлимлари вужудга келди.Улар жумласига: радиоспектроскопия, радиоголография, радиография, радиометрия, радиоэлектроника ва бошқалар киради.

Синов саволлари

1. Радиолокация деб нимага айтилади? 2. Радиолокациянинг иш принципи қандай? 3.Радиолокаторнинг тузилиши. 4. Радиолокаторнинг иш принципи. 5. Радиолокациянинг қўлланилиши. Унга учта мисол келтиринг. 6. Радиоастрономия астрономиянинг қандай бўлими? 7. Радиоастрономик кузатишлар қандай амалга оширилади? 8. Радиотелескопнинг тузилиши. 9. Парабола шаклидаги ойнасимон антеннали телескопнинг тузилиши. 10. Бундай телескопнинг иш принципи. 11. Бундай телескоп қандай тўлқинларни қабул қилади? 12. РАТАН радиотелескопи тўгрисида нималарни биласиз? 13. Радиотелескоплар ёрдамида қандай кашфиётлар қилинган? 14. Электромагнит тўлқинлар ёрдамида молекулаларнинг спектрларини ҳам ўрганиш мумкинми? 15. Электромагнит тўлқинларнинг қўлланилиши билан боглиқ бўлган қандай фанлар ва фан бўлимларини биласиз?

128- §. Замонавий алоқа воситалари. Ўзбекистонда алоқа тизими

Мазмуни: замонавий алоқа воситаси; Ўзбекистонда телефон алоқаси; уяли алоқа воситаси; электрон почта ва интернет системаси.

Замонавий алоқа воситаси. XX асргача алоқа мажмуаси, асосан, фельдъегерлик алоқаси ва махсус алоқадан иборат бўлган. Лекин ўтган аср алоқа тармоғининг кескин ўзгариб кетишига олиб келди. Уларнинг ичида кенг тарқалгани телефон алоқасидир. Телефон коммутаторининг яратилиши XX асрнинг энг буюк ихтироларидан бири деб бекорга тан олинмаган. Бугунги кунда эса уяли алоқа воситаси, электрон почта ва интернет алоқа тизими турмуш тарзининг ажралмас қисмига айланиб бормоқда. Бу тизимларнинг иш принципи ҳам дастлабки радиотелефон алоқадан кескин фарқ қилмайди, фақат улар фан ва техниканинг сўнгги ютуқлари, замонавий компьютерлар ва космик йўлдошлар воситасида амалга оширилади.

Ўзбекистонда телефон алоқаси. Ўзбекистонда дастлабки 200 рақамли телефон станцияси Тошкентда 1904 йилда ишга туширилган. Ҳозир эса умумий фойдаланиладиган телефон тармоқларида 1,5 млн. дан кўпроқ телефон рақами бор. Шу билан бирга, Ўзбекистонда шаҳарлараро телефон алоқасига ҳам катта эътибор берилмоқда. Ҳозир республикада шаҳарлараро телефон алоқасида 25 000 дан ортиқ канал мавжуд. Тошкент шаҳрида станциялараро йўналишларда тармоқлар оптик толали алоқа воситаларига ўтказилган. Нукусда, Самарқандда ва бошқа шаҳарларда оптик толали алоқа йўлларининг ягона мажмуаси ишга туширилиш арафасида. 1992 йилда Японияниинг «НЭК» фирмаси етказиб берган асбоб-ускуналардан абонентларнинг жаҳон телефон тармоғига чиқишини ҳамда икки томонлама халқаро телекўрсатувларни таъминлайдиган 150 каналли рақамли космик телефон станцияси қурилди ва фойдаланишга топширилди. Кейинчалик, Туркиянинг «НЕТАШ», «ТЕЛЕТАШ», «СИМКО» фирмалари 30 каналли яна бир халқаро космик телефон станциясини Тошкентда қурди. Ҳозир халқаро телефон сўзлашувларнинг 80% и сунъий алоқа йўлдошлари орқали амалга оширилади.

Уяли алоқа воситаси. 1991 йилда Ўзбекистон ва АҚШ нинг «Интернейшнл — коммуникейшн групп» фирмаси билан ташкил этилган «УЗДУНРОБИТА» қўшма корхонаси 1995 йилгача Тошкент, Самарқанд, Урганч, Қарши, Андижон, Бухоро шаҳарларида халқаро ва шаҳар, шаҳарлараро телефон станциялари билан боғланиш имкониятига эга бўлган уяли телефон алоқаси станцияларини ишга туширди. 1997 йилдан бошлаб эса бундай алоқа воситаси билан хизмат кўрсатадиган яна бешта корхона вужудга келди. Булар: «УЗМАКОМ», «КОСКОМ», «ЮНИТЕЛ», «БУЗТОН» ва «Ю-тел» лардир. Ҳозир мамлакатимизда бундай алоқа воситасидан фойдаланиладиганлар сони ҳам 100 мингдан ошиб кетган.

Электрон почта ва интернет системаси. Компьютер технологияси соҳасидаги ютуқларни алоқа соҳасидаги ютуқлар билан боғлаш янги электрон почта ва интернет алоқа системаларининг вужудга келишига олиб келди. Ҳозирги пайтда жуда кўп маълумотлар ва ҳужжатлар компьютерлар орқали модемлар воситасида узатилади ёки қабул қилинади. Интернет эса ўз навбатида ҳам бутун жаҳон маълумот тарқатиш, ҳам одамларнинг компьютерлар ёрдамида мулоқот ва алоқа воситасига айланиб қолди. Ҳозирги пайтда бутун дунё бўйича Интернет тармогидан фойдаланувчиларнинг умумий сони 300 миллионни ташкил қилади. Ўзбекистонда ҳам Интернет тармогидан фойдаланиладиганлар сони кескин ортиб бормоқда. 1999 йилнинг охирида мамлакатимизда Интернет системасига улашга имкон берувчи 8 та корхона (Провайдер) мавжуд бўлиб, фойдаланувчилар сони 2500 атрофида эди. 2005 йилга бориб Интернетдан фойдаланувчиларнинг сони 1 000 000 га етиши кутилмоқда. Айниқса, ўқув юртларининг, жумладан, академик лицейлар ва касб-ҳунар коллежларининг ҳам Интернет системасига уланаётганлиги қувонарли ҳолдир.

Синов саволлари

1. XX асргача алоқа воситаси нималардан иборат бўлган? 2. XX аснинг буюк ихтироларидан бири нима? 3. Замонавий алоқа воситаларининг иш принципи дастлабки радиотелефон алоқадан фарқ қиладими? 4. Ўзбекистонда дастлабки телефон станцияси қачон ва қаерда қурилган? Унинг ҳажми қанча бўлган? 5. Ҳозир Ўзбекистонда умумий фойдаланиладиган телефон номерлар сони қанча? 6. Шаҳарлараро алоқада нечта канал бор? 7. Ҳозир Ўзбекистонда халқаро телефон сўзлашувларининг неча фоизи сунъий йўлдошлар орқали амалга оширилади? 8. Ўзбекистонда уяли алоқа воситаси қачон иш бошлаган? 9. Ҳозир нечта корхона уяли алоқа хизматини курсатади? 10. Электрон почта ва интернет системасининг иш принципи. 11. Интернет тармоғининг қулайликлари. 12. Бутун дунёда Интернет тармоғидан қанча одам фойдаланади? Ўзбекистонда-чи?

Масалалар ечиш намуналари

1 - масала. Радиоприёмникда иккита қисқа тўлқинли диапазон бор: 41 — 75 м ва 24,8 — 33,3 м. Тегишли частотавий диапазонни ҳисобланг.

Берилган:
$\lambda_1 \to 41 - 75$м;
$\lambda_2 \to 24{,}8 - 33{,}3$м,

$\nu_1 = ?$, $\nu_2 = ?$

Ечиш. Электромагнит тўлқинларнинг частотаси ва тўлқин узунлиги қуйидагича боғланган.

$$\nu = \frac{c}{\lambda},$$

бу ерда $c = 3 \cdot 10^8$ м/с — электромагнит тўлқинларнинг (ёруғликнинг) вакуумдаги тезлиги. Берилганлар ёрдамида топамиз:

$$\nu_1 = \frac{3 \cdot 10^8}{41}\ \text{Гц} = 7{,}3\text{МГц}, \quad \nu_1 = \frac{3 \cdot 10^8}{75}\ \text{Гц} = 4\text{МГц},$$

$$\nu_2 = \frac{3 \cdot 10^8}{24{,}8}\ \text{Гц} = 12{,}1\text{МГц}, \quad \nu_2 = \frac{3 \cdot 10^8}{33{,}3}\ \text{Гц} = 9\text{МГц},$$

Жавоб: $\nu_1 = 4$ МГц ÷ 7,3 МГц;
$\nu_2 = 9$ МГц ÷ 12,1 МГц.

2 - масала. Агар объектдан қайтган радиосигнал радар антеннасига 200 мкс дан кейин қайтиб келса, объект радардан қанча масофада бўлади?

Берилган:

$t = 200$ мкс $= 2 \cdot 10^{-4}$с;
$c = 3 \cdot 108$ м/с.

———————————

$l = ?$

Ечиш. Демак, электромагнит тўлқинлар объектгача бориб келишга, унгача бўлган масофадан икки марта кўп йўлни босиб ўтади (бир марта боришга + бир марта қайтишга). Шундай қилиб,

$$2l = c \cdot t,$$

$$l = \frac{c \cdot t}{2}.$$

Катталикларнинг сон қийматлари ёрдамида топамиз.

$$l = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot 2 \cdot 10^{-4}}{2} \text{ м} = 3 \cdot 10^4 \text{ м} = 30\text{км},$$

Жавоб: $l = 30$ км.

Мустақил ечиш учун масалалар

1. Агар приёмникнинг тебраниш контуридаги конденсаторнинг сиғими 50 дан 500 пФ гача ўзгариб, ғалтакнинг индуктивлиги 2 мкГн бўлиб, ўзгармай қолса, бундай приёмник қандай диапазондаги тўлқин узунликларида ишлай олади? (60 ÷ 190 м.)
2. Бирор муҳитда электромагнит тўлқинларнинг тарқалиш тезлиги 250 мм/с ни ташкил қилади. Агар бу тўлқинларнинг вакуумдаги частотаси 1 Мгц ни ташкил қилса, уларнинг муҳитдаги тўлқин узунлиги аниқлансин. ($\lambda = 250$ м.)
3. Вакуумда x ўқи бўйлаб ясси электромагнит тўлқинлар тарқалади. Тўлқин электр майдон кучланганлигининг амплитудаси $E_0 = 10$ В/м. Магнит майдон кучланганлигининг амплитудаси аниқлансин. (H = 0,265 А/м.)
4. Радиолокатордан 30 км узоқликдаги нишонни қидиришда радиолокатор 1 с да чиқараётган импульсларнинг максимал сони қанча бўлиши керак? ($N = 5000$.)

Хусусий номга эга бўлган физик катталикларнинг СИ даги бирликлари

Катталик	Бирлик	
	номи	белгиси
Узунлик	метр	м
Масса	килограмм	кг
Вақт	секунд	с
Ясси бурчак	радиан	рад
Фазовий бурчак	стерадиан	Ср
Куч, вазн	ньютон	Н
Босим	паскаль	Па
Кучланиш (механик)	паскаль	Па
Эластиклик модули	паскаль	Па
Иш, энергия	жоуль	Ж
Қувват	ватт	Вт
Тебраниш частотаси	герц	Гц
Термодинамик температура	кельвин	К
Температура фарқи	кельвин	К
Иссиқлик, иссиқлик миқдори	жоуль	Ж
Модда миқдори	моль	моль
Электр заряди	кулон	Кл
Ток кучи	ампер	А
Электр майдонинин потенциали, электр кучланиш	вольт	В
Электр сиғим	фарада	Ф
Электр қаршилик	ом	Ом
Электр ўтказувчанлик	сименс	См
Магнит индукция	тесла	Тл
Магнит оқими	вебер	Вб
Индуктивлик	генри	Ги

Ўнга каррали ва улушли бирликларни ҳосил қилишнинг кўпайтувчилари, олд қўшимчалари ва уларнинг номлари

Кўпайтувчи	Олд қўшимча	Олд қўшимчанинг белгиси		Кўпайтувчи	Олд қўшимча	Олд қўшимчанинг белгиси	
		халқаро	ўзбекча			халқаро	ўзбекча
10^{18}	экса	E	Э	10^{-1}	деци	d	д
10^{15}	пета	p	П	10^{-2}	санти	c	с
10^{12}	тера	T	Т	10^{-3}	милли	m	м
10^{9}	гига	G	Г	10^{-6}	микро	μ	мк
10^{6}	мега	M	м	10^{-9}	нано	H	Н
10^{3}	кило	k	к	10^{-12}	пико	P	п
10^{2}	гекто	h	г	10^{-15}	фемто	f	Ф
10^{1}	дека	da	да	10^{-18}	атто	a	а

Астрономиянинг баъзи катталиклари

Ернинг радиуси	$6,37 \cdot 10^6$ м
Ернинг массаси	$5,98 \cdot 10^{24}$ кг
Қуёшнинг радиуси	$6,95 \cdot 10^8$ м
Қуёшнинг массаси	$1,98 \cdot 10^{30}$ кг
Ойнинг радиуси	$1,74 \cdot 10^6$ м
Ойнинг массаси	$7,33 \cdot 10^{22}$ кг
Ернинг марказидан Қуёшнинг марказигача бўлган масофа	$1,49 \cdot 10^{11}$ м
Ернинг марказидан Ойнинг марказигача бўлган масофа	$3,84 \cdot 10^8$ м
Ойнинг Ер атрофида айланиш даври	27,3 кеч.кун.= 2,36 : 106 с

Қаттиқ жисмларнинг ва суюқликларнинг зичликлари (10^3 кг/м^3).

Қаттиқ жисмлар

Алюминий	2,70
Висмут	9,80
Вольфрам	19,3
Темир (чўян, пўлат)	7,87
Олтин	19,3
Ош тузи	2,20
Жез	8,55
Марганец	7,40
Мис	8,93
Никель	8,80
Платина	21,4
Қўрғошин	11,3
Кумуш	10,5
Уран	18,7

Суюқликлар (15 °С да)

Сув (соф 4 °Сда)	1,00
Глицерин	1,26
Керосин	0,8
Мой (зайтун мойи, мойлаш учун ишлатиладиган)	0,9
Канакунжут мойи	0,96
Симоб	13,6
Углерод сульфид	1,26
Спирт	0,8
Эфир	0,7

Нормал шароитларда газларнинг зичликлари (кг/м³)

Азот	1,25
Аргон	1,78
Водород	0,09
Ҳаво	1,29
Гелий	0,18
Кислород	1,43

Қаттиқ жисмларнинг эластиклик доимийси (яхлитланган қийматлар)

Модда	Юнг модули, E, ГПа	Силжиш модули, ГПа
Алюминий	69	24
Вольфрам	380	140
Темир (пўлат)	200	76
Мис	98	44
Кумуш	74	27

Критик параметрлар ва Ван-дер-Ваальс тузатмалари

Газ	Критик температура $T_{кр}$, K	Критик босим $p_{кр}$, МПа	Ван-дер-Ваальс тузатмаси	
			a, Н · м⁴/моль²	b, 10^{-5} м³/моль
Азот	126	3,39	0,135	3,86
Аргон	151	4,86	0,134	3,22
Сув буғи	647	22,1	0,45	3,04
Кислород	155	5,08	0,136	3,17
Неон	44,4	2,72	0,209	1,07
Карбонат ангидрид	304	7,38	0,361	4,28
Хлор	417	7,71	0,650	5,62

20 °С да суюқликларнинг сирт тарангликлари, σ (мН/м)

Сув	73
Глицерин	62
Совунли сув	40
Симоб	$5{,}0 \cdot 10^2$
Спирт	22

Товушнинг тезлиги С, м/с

Сувда	1450
Ҳавода (нормал шароитларда, қуруқ)	332

ЮНОН ВА ЛОТИН ҲАРФЛАРИ

Ҳарфлар		Ҳарфнинг номи	Ҳарфлар		Ҳарфнинг номи
Босма	Ёзма		Босма	Ёзма	
Юнон ҳарфлари					
Αα	Αα	альфа	Νν	Νν	ню
Ββ	Ββ	бета	Ξξ	Ξξ	кси
Γγ	Γγ	гамма	Οο	Οο	омикрон
Δδ	Δδ	дельта	Ππ	Ππ	пи
Εε	Εε	эпсилон	Ρρ	Ρρ	ро
Ζζ	Ζζ	дзэта	Σσ	Σσ	сигма
Ηη	Ηη	эта	Ττ	Ττ	тау
Θϑ	Θϑ	гэта	Υυ	Υυ	ипсилон
Ιι	Ιι	иота	Φφ	Φφ	фи
Κκ	Κκ	каппа	Χχ	Χχ	хи
Λλ	Λλ	ламбда	Ψψ	Ψψ	пси
Μμ	Μμ	мю	Ωω	Ωω	омега
Лотин ҳарфлари					
Aa	*Aa*	а	Nn	*Nn*	эн
Bb	*Bb*	бе	Oo	*Oo*	о
Cc	*Cc*	це	Pp	*Pp*	пе
Dd	*Dd*	де	Qq	*Qq*	ку
Ee	*Ee*	е	Rr	*Rr*	эр
Ff	*Ff*	эф	Ss	*Ss*	эс
Gg	*Gg*	ге, же	Tt	*Tt*	те
Hh	*Hh*	ха, аш	Uu	*Uu*	у
Ii	*Ii*	и	Vv	*Vv*	ве
Jj	*Jj*	йот, жи	Ww	*Ww*	дубль-ве
Kk	*Kk*	ка	Xx	*Xx*	икс
Ll	*Ll*	эль	Yy	*Yy*	игрек
Mm	*Mm*	эм	Zz	*Zz*	зет (зета)

МУНДАРИЖА

Сўз боши 3
Табиатни ўрганишда физиканинг ўрни ва унинг бошқа фанлар тараққиётидаги аҳамияти 4
Физиканинг ривожланиш тарихидан маълумотлар 6
Шарқ алломаларининг табиатни ўрганиш илмига қўшган ҳиссалари 7
Ўзбекистонда физика тараққиёти соҳасида олиб борилаётган ишлар 10
Физик катталиклар. Бирликлар системаси 12

МЕХАНИКА

I боб. Кинематика.

1- §. Ҳаракат ҳақида умумий тушунча. Саноқ системаси 15
2- §. Вектор катталиклар. Векторлар устида амаллар 17
3- §. Кўчиш ва йўл 20
4- §. Тўғри чизиқли текис ҳаракат. Тезлик 21
5- §. Тезланиш ва унинг ташкил этувчилари 23
6- §. Тўғри чизиқли текис ўзгарувчан ҳаракатда тезлик ва йўл формулалари. Ҳаракатни график равишда тасвирлаш 25
7- §. Эгри чизиқли ҳаракат ва уни характерловчи катталиклар 27
Масала ечиш намуналари 31

II боб. Динамика.

8- §. Ньютоннинг биринчи қонуни 34
9- §. Ньютоннинг иккинчи қонуни 36
10- §. Ньютоннинг учинчи қонуни 39
11- §. Ишқаланиш кучлари 40
12- §. Ньютон қонунларига оид масалалар ечиш 43

III боб. Сақланиш қонунлари.

13- §. Импульснинг сақланиш қонуни 45
14- §. Энергия, иш ва қувват 47
15- §. Механик энергия 49
16- §. Энергиянинг сақланиш қонуни 50
17- §. Жисмларнинг абсолют эластик ва ноэластик урилишлари 51
Масала ечиш намуналари 53

IV боб. Тортишиш кучлари.

18- §. Бутун олам тортишиш қонуни 55
19- §. Тортишиш майдони. Оғирлик кучи ва вазн. Вазнсизлик 56
20- §. Космик тезликлар 59
Масала ечиш намуналари 61

V боб. Қаттиқ жисмлар механикаси.

21- §. Инерция ва куч моментлари. Қаттиқ жисм айланма ҳаракат динамикасининг тенгламаси 63
22- §. Импульс моменти ва унинг сақланиш қонуни 66
23- §. Қаттиқ жисмнинг деформацияси 68

24- §. Қаттиқ жисмнинг мувозанати. Статика элементлари 70
Масала ечиш намуналари 71

VI боб. Суюқликлар ва газлар механикаси.

25- §. Суюқликларда ва газларда босим. Паскаль ва Архимед қонунлари .. 74
26- §. Узлуксизлик ва Бернулли тенгламалари 76
27- §. Жисмларнинг суюқликларда ва газларда ҳаракати 77
Масала ечиш намуналари 78

VII боб. Тебранишлар ва тўлқинлар.

28- §. Гармоник тебранишлар ва уларнинг характеристикалари
Пружинали ва математик маятниклар 80
29- §. Тўлқинлар. Тўлқин характеристикалари, тўлқинларнинг қайтиши
ва синиши 83
30- §. Товуш тўлқинлари 85
Масала ечиш намуналари 88

VIII боб. Махсус нисбийлик назарияси асослари.

31- §. Механикада нисбийлик принципи. Галилей алмаштиришлари 90
32- §. Махсус нисбийлик назариясининг постулатлари 93
33- §. Лоренц алмаштиришлари ва уларнинг натижалари 94
34- §. Тезликларни қўшишнинг релятивистик формуласи 98
35- §. Релятивистик масса ва релятивистик импульс 99
Масала ечиш намуналари 102

Молекуляр физика ва термодинамика асослари

IX боб. Молекуляр-кинетик назария асослари.

36- §. Молекулаларнинг характеристикалари. Молекуланинг
катталиги 105
37- §. Идеал газ ва унинг параметрлари 107
38- §. Молекулалараро ўзаро таъсир кучлари ва энергияси 110
39- §. Идеал газнинг тажрибавий қонунлари.Клапейрон — Менделеев
тенгламаси 114
40- §. Идеал газ молекуляр-кинетик назариясининг асосий
тенгламаси 118
Масала ечиш намуналари 121

X боб. Термодинамика асослари.

41- §. Системанинг ички энергияси. Ички энергиянинг эркинлик
даражалари бўйича текис тақсимоти 124
42- §. Ички энергиянинг ўзгариши 126
43- §. Иссиқлик сигими. Солиштирма иссиқлик сигими
Иссиқлик баланси тенгламаси 128
44- §. Термодинамиканинг биринчи қонуни ва унинг татбиқлари
Адиабатик жараён 130
45- §. Термодинамиканинг иккинчи қонуни 132
46- §. Иссиқлик машинасининг иш принципи. Иссиқлик
машинасининг Ф.И.К. Карно цикли 134
47- §. Иссиқлик двигателлари.Табиатни муҳофаза қилиш 137
Масала ечиш намуналари 141

XI боб. Моддаларнинг агрегат ҳолати.

48- §. Реал газлар. Реал газларнинг ҳолат тенгламаси 144
49- §. Бугланиш ва конденсация. Тўйинган буг. Ван-Дер Ваальс изотермалари. Критик ҳолат 146
50- §. Газларни суюлтириш 149
51- §. Ҳавонинг намлиги. Шудринг нуқтаси 151
52- §. Атмосфера ва гидросфера. Сайёраларнинг атмосфераси 153
53- §. Қайнаш. Буг ҳосил бўлиши ва конденсациясида иссиқлик баланси тенгламаси 157
54- §. Суюқликнинг хоссалари. Сирт таранглиги. Сирт қатлами энергияси 159
55- § Ҳўллаш. Эгри сирт остидаги босим. Капиллярлик 163
56-§. Қаттиқ жисмлар. Моно ва поликристаллар. Полимерлар 166
57- §. Кристалларнинг турлари. Дефектлар. Суюқ кристаллар 169
58- §. Қаттиқ жисмларнинг механик хоссалари 172
59- §. Моддаларнинг иссиқликдан кенгайиши 175
Масала ечиш намуналари 179

Электродинамика асослари

XII-боб. Электр майдон.

60- §. Электр заряди. Электр зарядининг сақланиш қонуни 181
61- §. Кулон қонуни 184
62- §. Электростатик майдон. Электростатик майдон кучланганлиги 185
63-§. Электростатик майдон учун суперпозиция принципи. Диполь майдони 189
64- §. Электростатик майдон кучларининг иши 190
65- §. Потенциал. Потенциаллар фарқи 192
66- §. Электростатик майдон кучланганлиги ва потенциаллар фарқи орасидаги боғланиш. Эквипотенциал сиртлар 195
67- §. Диэлектриклар. Диэлектрикларнинг қутбланиши 197
68- §. Электр майдонда ўтказгичлар 201
69- §. Электр сиғими. Конденсаторлар. Конденсаторларни улаш 203
70- §. Зарядланган конденсатор энергияси 207
71- §. Электростатик майдон энергияси 208
Масала ечиш намуналари 209

XIII боб. Ўзгармас ток қонунлари.

72- §. Ток кучи ва ток зичлиги 212
73- §. Ташқи кучлар. Электр юритувчи куч ва кучланиш 215
74- §. Занжирнинг бир қисми учун Ом қонуни 218
75- §. Ўтказгичларнинг қаршилиги. Ўтказгич қаршилигининг ҳароратга боғлиқлиги 219
76- §. Тўла занжир учун Ом қонуни 222
77- §. Кирхгоф қоидалари. Ўтказгичларни улаш 223
78- §. Электр энергия манбаларини улаш 225
79- §. Токнинг иши ва қуввати. Жоуль — Ленц қонуни 227
Масала ечиш намуналари 229

XIV боб Турли муҳитларда электр токи.

80- §. Металларда электр токи. 231
81- §. Чиқиш иши 233
82- §. Эмиссия ҳодисалари ва уларнинг қўлланилиши 235
83- §. Газларда электр токи. Мустақил ва номустақил разрядлар 238

F23

Ғаниев А.Г. ва бошқ.

Физика: (I қисм): Академик лицей ва касб-ҳунар коллежлари учун ўқув қўлланма / Муаллифлар: А.Г. Ғаниев, А.К. Авлиёқулов, Г.А. Алмардонова. — Т.: «Ўқитувчи», 2002. — 368 б.

I. 1,2 Муаллифдош

ББК 22.3я722

Ғаниев Абдуқаҳҳор Гадойевич,
Авлиёқулов Абдурашид Каримович,
Алмардонова Гулнора Ашуровна

ФИЗИКА

I қисм

Академик лицей ва касб-ҳунар коллежлари учун ўқув қўлланма

Тошкент «Ўқитувчи» 2002

Таҳририят мудири *М. Пўлатов*
Муҳаррирлар: *М. Шерматова, Д. Аббосова*
Расмлар муҳаррири *Ф. Никқадамбоев*
Техн. муҳаррир *С. Турсунова*
Кичик муҳаррир *Х. Мусахўжаева*
Мусаҳҳиҳлар: *З. Содиқова, М. Иброҳимова*
Компьютерда саҳифаловчи *Н. Аҳмедова*

ИБ № 8103

Оригинал-макетдан босишга рухсат этилди 30.08.2002. Бичими 60x90 /16
Кегли 10 шпонли. Таймс гарн. Офсет босма усулида босилди. Босма т. 23,0.
Шартли б.т. 23,0. Шартли кр.-отт. 23,5. Нашр т. 22,5. 40 000 нусхада босилди.
Буюртма № 2032

«Ўқитувчи» нашриёти. Тошкент, 700129, Навоий кўчаси, 30.
Шартнома № 09-83-2002.

Ўзбекистон Матбуот ва ахборот агентлигининг 1-босмахонасида босилди.
Тошкент, Сағбон кўчаси, 1-берк кўча, 2-уй. 2002.

"O'QITUVCHI"