

Г. Я. МЯКИШЕВ, Б. Б. БУХОВЦЕВ

ФИЗИКА

МОЛЕКУЛЯР ФИЗИКА
ИССИҚЛИК ҲОДИСАЛАРИ



ЭЛЕКТРОДИНАМИКА
АСОСЛАРИ



Ўрта мактабнинг 10^а синфи учун дарслик

«ЎҚИТУВЧИ»

ТОШКЕНТ

1995

Ўзбекистон республикаси Халқ таълими вазирлигининг дарсликларни қайта кўриш маҳсус комиссияси маъқуллаган.

М 40

Мякишев Г. Я., Буховцев Б. Б.

Физика: Ўрта мактабнинг 10- синфи учун дарслик.— Т.: Ўқитувчи, 1995—256 б.

1. Автордош.

Мякишев Г. Я., Буховцев Б. Б. Физика: Учебник для 10 класса.

ББК 22. 3я 721

М 4306022300—20 бл. зак.— 95
353(04)—95

ISBN 5-645-01216-X

- © Мякишев Г. Я. , Буховцев Б. Б. 1990 г.
- © «Ўқитувчи» нашриёти, ўзбек тилига таржима. 1991 й.
- © «Ўқитувчи» нашриёти, ўзбекча 2-нашри, 1995

Дарслик билан қандай ишлаш керак!

Дарслик билан ҳар ким ўзининг табиати, одатларига мувофиқ равишда ишлайди. Лекин шунга қарамасдан, баъзи умумий маслаҳатларни бериш мумкин.

Ҳар бир ифодани охиригача тушунишга уриниб матнни (текстни) секин кўздан кечириш тўғримики? Ўрганилаётган бўлим тўғрисида умумий тасаввур ҳосил қилиш учун олдин параграфни тез ўқиб чиқиб, кейин ишга астойдил киришган маъқулроқ.

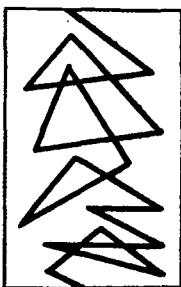
Ўқув материални ўзлаштириш асло уни ёд олишни билдирмайди. Бунинг учун асосий моҳиятни тушуниб олишга ҳаракат қилиш керакки, бу сизнинг қўлингиздан келади. Баъзи нарсаларни, масалан, катталикларнинг таърифларини, қонунларни, асосий формулаларни албатта ёд олиш лозим, аммо таърифларни сўзмасўз ёдлаш асло шарт эмас. Формулаларни аниқ билиш керак. Агар формуладаги биргина белги эсдан чиқиб қолса ҳам, бутун формуланинг маъноси йўқолади.

Биз ҳар бир бобдаги ва ҳар бир параграфдаги асосий фикрларни ажратиб олишингизда Сизга ёрдамлашишга ҳаракат қилдик. Боб ва параграфлар қисқа муқаддима билан бошланиб, уларда мазкур боб ёки параграфдан кўзланган мақсад баён қилинади. Ҳар бир параграфнинг охирида қисқача яқун бўлади; боблар ҳам яқун билан тугалланади, лекин улар бир оз кенгроқ бўлади. Бирок бобнинг якунини шахсан ўзингиз ёзиб, шундан кейингина китобдагини ўқисангиз, бу Сиз учун жуда фойдали бўларди.

Одатда киши ўзи бирон нарсани тушунаётгани ёки тушунмаётганини ўзи англаб туради. Лекин китобдан бир ифодани ёдлаб олиб, тушундим, деб ҳисоблайди.

Чинакам тушунганликнинг аниқ гарови масала еча билишдир. Лекин қонунни қуруқ билиш ва ҳатто тушуниш ҳам ҳар қандай масалани еча олишга гаров бўлолмайди. Ҳар қандай ижодий ишда бўлганидек бунда ҳам машқ қилиш керак.

Сизга китоб билан узоқ ишлашга тўғри келади, шунинг учун китобни яхши аҳволда тутинг. У Сиздан Сизнинг кичик ўртоқларингизга ўтади.



МОЛЕКУЛЯР ФИЗИКА. ИССИҚЛИК ҲОДИСАЛАРИ

- I. Молекуляр-кинетик назариянинг асослари
- II. Ҳарорат (температура). Молекулалар иссиқлик ҳаракатининг энергияси.
- III. Идеал газ ҳолатининг тенгламаси. Газ конунлари
- IV. Сууюқлик ва газларнинг бир-бирига айланиши
- V. Қаттиқ жисмлар
- VI. Термодинамика асослари

НИМА УЧУН ИССИҚЛИК ҲОДИСАЛАРИ МОЛЕКУЛЯР ФИЗИКАДА УРГАНИЛАДИ

Бу муқаддима Сиз ҳозир ўргана бошлайдиган нарсаларнинг аҳамияти ва маъноси тўғрисида тасаввур беради. Уни бир марта ўқиб чиқишнинг ўзи етарли.

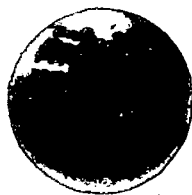
Макроскопик жисмлар. Биз макроскопик жисмлар оламида истикомат қиламиз. Бизнинг танамиз ҳам макроскопик жисм ҳисобланади.

Жуда кўп молекулалардан иборат бўлган катта жисмлар физикада макроскопик жисмлар деб аталади. Баллон ичидаги газ, стакандаги сув, қум зарраси, бир бўлак тош, пўлат стержень, Ер шари макроскопик жисм ҳисобланади (1-расм).

Механика ва механик ҳаракат. Ньютон механикасида *макроскопик жисмларнинг механик ҳаракати билан, яъни айрим жисмларнинг вақт ўтиши билан бошқа жисмларга нисбатан фазода кўчиши билан иш кўрилади.*

Механика жисмларнинг ҳаракатини урганади, лекин жисмнинг нима сабабдан қаттиқ, сууюқ ва газ ҳолатида бўлиши ва нима сабабдан бу жисмлар бир агрегат ҳолатдан бошқасига ўта олишини изоҳлаб беролмайди. Жисмларнинг ички хоссаларини тадқиқ қилиш механиканинг вазифаси эмас.

Механикада куч жисмлар тезлиги ўзгаришининг сабаби деб қаралади-ю, лекин бу кучларнинг табиати, уларнинг келиб чиқиши аниқлаштирилмайди. Нима сабабдан жисмларни сиққан-



1-расм

да эластиклик кучлари пайдо бўлиши, ишқаланиш нима сабабдан пайдо бўлиши ноаниқлигича қолаверади. Кўплаб, жуда кўплаб саволларга Ньютон механикаси мутлақо жавоб беролмайди.

Бу аҳволни Ньютоннинг ўзи ҳам яхши тушунган. Шунинг учун ҳам у «Дунё нуқтаи назаридан мен ўзимнинг қандай кўринишимни билмайман; лекин ўзимга ўзим денгиз соҳилида ўйнаб юрган, аҳён-аҳёнда силлик тошлар ёки одатдагидан чиройлироқ чиғаноқ топиб олса, шунга ҳам хурсанд бўлган боладек кўринаман, ваҳоланки, олдимда сир-асрори мутлақо очилмаган улуғ ҳақиқат уммони (океани) мавжланиб ётарди» — деган ажойиб сўзларни айтган.

Иссиқлик ҳодисалари. Механик ҳаракатдан кейинги энг сезиларли ҳодисалар жисмларнинг исиши ёки совиши билан, уларнинг ҳарорати (температураси) нинг ўзгариши билан боғлиқ бўлган ҳодисалардир. Бу ҳодисалар *иссиқлик ҳодисалари* деб аталади.

Агар ҳалокатли тўқнашувлар бўлмаса, механик ҳаракат жисмда бирор муҳим ўзгариш қилмайди. Аммо иситиш ёки совитиш жисмни таниб бўлмайдиган даражада ўзгартириб юборади. Шаффоф, аммо кўз илғайдиган сувни қаттиқ иситиб кўзга кўринмайдиган буғга айлантирамиз. Қаттиқ совитсак, сувни бир парча музга айлантирамиз. Агар чуқур уйлаб қарасак, бу ҳодисалар чинакам сирли бўлиб, жуда ҳам тонг қоларлидир. Бу нарсаларга биз болалигимиздан ўрганиб қолганимиз учун кўп ҳам ажабланмаймиз.

Жисмларнинг ўзи ҳаракатсиз бўлган ва механика нуқтаи назаридан жисмда ҳеч бир ўзгариш юз бермаган ҳолларда жисмларда бўладиган ўзгаришларни изоҳлайдиган қонунларни топиш керак. Бу қонунлар материя ҳаракатининг *иссиқлик ҳаракати* деб аталадиган махсус турини тавсифлайдики, бундай ҳаракат макроскопик жисмлар фазода кўчиш ёки кўчмаслигидан қатъи назар уларнинг ҳаммаси учун тааллуқлидир.

Молекулаларнинг иссиқлик ҳаракати. Ҳамма жисмлар атом ва молекулалардан тузилган. Иссиқлик ҳодисалари жисмларнинг ичида юз беради ва бутунлай бу зарраларнинг ҳаракати билан аниқланади. Атом ва молекулаларнинг ҳаракати ит ёки автомобилнинг ҳаракатига кам ўхшайди. Модданинг атом ва молекулалари бетартиб ҳаракат қилади, бу ҳаракатда бирор тартибнинг борлигини пайқаш қийин. *Молекулаларнинг бетартиб ҳаракати иссиқлик ҳаракати* деб аталади.

Теварак-атрофдаги жисмларда молекулалар ниҳоятда кўп бўлгани сабабли молекулаларнинг ҳаракати тартибсиз бўлади. Ҳар бир молекула бошқа молекулалар билан тўқнашганда ўз тезлигини тўхтовсиз ўзгартиради. Бунинг оқибатида молекуланинг траекторияси жуда чалкаш, ҳаракати тартибсиз бўлади, бу ҳаракат мавж ураётган сув оқимига тушиб қолган пайраҳанинг

ҳаракатидан ёки уяси бузилган ҷумолининг ҳаракатидан ҳам тартибсиз бўлади.

Нихоятда кўп молекулаларнинг бетартиб ҳаракати жисмларнинг тартибли механик кўчишидан сифат томондан фарқ қилади. Бу тартибсиз ҳаракат материя ҳаракатининг ўзига хос хусусиятларга эга бўлган махсус тури бўлади. Келгусида биз шу хусусиятлар тўғрисида гапиримиз.

Иссиқлик ҳодисаларининг аҳамияти. Ер қуррасининг одатдаги қиёфаси ҳарорат (температура) ларнинг жуда торгина ораллиғи (интервали) да бўлади. Агар ҳарорат 100°C дан ортиб кетса, Ерда одатдаги атмосфера босимида дарё, денгиз ва океанлар бўлмас, умуман сув бўлмас эди. Бутун сув бугга айланиб кетган бўлар эди. Ҳарорат бир неча ўн градус пасайса, океанлар катта-катта музликларга айланиб қолар эди.

Йил фасллари алмашганда ҳарорат атиги $20 - 30^{\circ}\text{C}$ ўзгарганда ўрта кенгликларда сайёранинг бутун қиёфаси ўзгариб кетади. Баҳор келиши билан табиат уйғонади. Ўрмон яшил либосга бурканади, далалар кўм-кўк бўлади. Қиш фаслида эса ўсимликлар уйқуга кетади. Ерни қалин қор босади.

Иссиққонли ҳайвонларнинг ҳаёти учун ҳароратнинг яна ҳам тор ораллиғи талаб қилинади. Ҳайвон ва инсоннинг ҳароратини терморегуляциянинг ички механизми қатъий бир даражада тутиб туради. Ҳароратимиз градуснинг ўндан бир улушидан бир нечтаси қадар кўтарилганда биз ўзимизни бетоб сезамиз. Ҳарорат бир неча градусга ўзгарганда организм ўлади. Шунинг учун иссиқлик ҳодисалари инсоннинг диққатини қадим замонлардан бери ўзига тортиб келгани ажабланарли эмас. Инсон олов чиқаришни ва уни ўчирмай туришни ўрганиб олгандан сўнггина теварак атрофдаги ҳароратнинг ўзгаришига тобеликдан қутулди, деса бўлади. Бу эса инсоннинг энг буюк кашфиётларидан бири эди.

Ҳароратнинг ўзгариши жисмларнинг ҳамма хоссаларига таъсир кўрсатади. Ҳарорат ўзгарганда жисмларнинг ҳамма хоссалари ўзгаради. Масалан, иситилганда ёки совитилганда қаттиқ жисмларнинг ўлчамлари ва суюқликларнинг ҳажми ўзгаради. Уларнинг механик хоссалари, масалан, эластиклиги анча ўзгаради. Резина найни болғача билан урсангиз унга ҳеч нима бўлмайди. Бироқ резина 100°C дан паст ҳароратгача совитилса, шиша қаби мўрт бўлиб қолади. Секингина урсангиз ҳам бу резина най майда-майда бўлиб кетади. Иситилгандан кейингина резина яна эластик бўлиб қолади.

Ҳарорат ўзгарганда жисмнинг механик хоссаларидан ташқари бошқа хоссалари ҳам, масалан, электр токига кўрсатадиган қаршилиги, магнит хоссалари ва бошқалари ўзгаради. Агар доимий магнит қаттиқ қиздирилса, у темир буюмларни ўзига тортмай қўяди.

Юқорида тилга олинган ва бошқа кўпгина иссиқлик ҳодисалари маълум бир қонунларга бўйсунди. Иссиқлик ҳодисалари

Ломоносов Михаил Васильевич (1711—1765) — улуғ рус олими, қомусчи, шоир ва жамоат арбоби, унинг номи билан аталадиган Москва университетининг асосчиси. А. С. Пушкин М. В. Ломоносовни «биринчи рус дорилфунни» деб атаган М. В. Ломоносов физика, химия тоғ ишлари ва металлургия соҳасида машҳур асарлар ёзган. У иссиқликнинг молекуляр-кинетик назариясини ривожлантирди; масса ва энергиянинг сақланиш қонунлари унинг асарларида олдинроқ маълум бўлган. М. В. Ломоносов рус халқининг тарихи юзасидан улкан асарлар яратди; у ҳозирги замон рус тили грамматикасининг асосчисиدير.



қонунларининг кашф этилиши *бу ҳодисалардан амалда ва техникада самарали фойдаланишга имкон беради*. Ҳозирги замон иссиқлик двигателлари, газларни суюқликка айлантирадиган қурилмалар, совиткич аппаратлар ва кўпгина бошқа қурилмалар ана шу қонунларга асосланиб лойиҳаланади.

Молекуляр-кинетик назария. Қадимги замон файласуфлари ҳам иссиқлик ички ҳаракатнинг бир тури эканлигини пайкаганлар. Лекин XVIII асрга келибгина изчил *молекуляр-кинетик назария* ривожлана бошлади. *Молекуляр-кинетик назариянинг мақсади макроскопик жисмларнинг ва уларда юз берадиган иссиқлик жараёнларининг ҳамма жисмлар бетартиб ҳаракат қилувчи айрим зарралардан иборат деган тасаввурга асосланиб талқин этишдир.*

Молекуляр-кинетик назарияни ривожлантиришга М. В. Ломоносов катта ҳисса қўшди. Ломоносов иссиқликни жисмлар таркибидаги зарраларнинг айланма ҳаракати деб талқин этди.

МОЛЕКУЛЯР-КИНЕТИК НАЗАРИЯНИНГ АСОСЛАРИ

Биз баён этишни молекуляр-кинетик назариянинг асосий қонун-қоидаларидан бошлаймиз. Уларни сиз қисман VII ва VIII синф физикасидан биласиз. Сўнгра энг содда макроскопик жисм бўлмиш газнинг микдорий назарияси билан танишамиз.

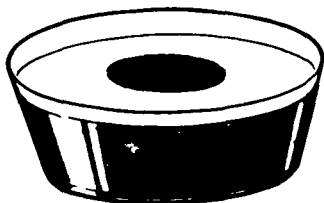
1-§. МОЛЕКУЛЯР-КИНЕТИК НАЗАРИЯНИНГ АСОСИЙ ҚОНУНИЯТЛАРИ. МОЛЕКУЛАЛАРНИНГ ЎЛЧАМЛАРИ

Молекулалар жуда кичик бўлади, лекин уларнинг ўлчамлари ва массасини баҳолаш (чамалаш) нақадар оддий эканини кўринг-а. Бунинг учун бир кузатиш ва бир жуфт содда ҳисобнинг ўзи кифоя. Тўғри, бу ишни қандай қила билишни ўйлаб топиш ҳам керак.

Модда тузилишининг молекуляр-кинетик назарияси ҳар бири тажрибада тасдиқланган учта қоидага асосланади: **модда зарралардан тузилган; бу зарралар тартибсиз ҳаракат қилади; зарралар ўзаро таъсирлашади.**

Инфузориядан тортиб юлдузларгача бўлган мустасносиз ҳамма жисмларнинг ҳосса ва характерлари шу жисмларни ташкил этган ва ўзаро таъсирлашувчи молекула, атом ёки элементар зарралар деб аталувчи янада майда зарраларнинг ҳаракатига боғлиқ.

Молекулалар ўлчамини баҳолаш. Молекулаларнинг ҳақиқатда мавжудлигига тўлиқ ишонч ҳосил қилиш учун уларнинг ўлчамини аниқлаш лозим. Мой томчисининг, масалан, зайтун мойи томчисининг сув юзиде ёйилишини кузатиб, молекуланинг ўлчамини аниқлаш осон. Агар идиш катта бўлса (2-расм), мой ҳеч қачон бутун сув юзиде эгалламайди. Ҳажми 1 мм^3 бўлган томчини сув юзиде $0,6 \text{ м}^2$ дан ортик юзиде эгаллайдиган қилиб



2-расм

ёйиб бўлмайди. Мой томчиси сув юзиде энг кўп жой олиб ёйилганда қалинлиги атиги бир молекула келадиган қатлам ҳосил қилади, деб фараз этиш мумкин. Бу қатламнинг қалинлигини аниқлаш қийин эмас ва шу йўл билан зайтун мойи молекуласининг ўлчамини чамалаш мумкин.



Мой қатламнинг ҳажми V унинг юзи S билан қалинлиги d нинг кўпайтмасига тенг: $V = Sd$. Бинобарин, зайтун мойи молекуласининг ўлчами қуйидагига тенг бўлади:

$$d = \frac{0,001 \text{ см}^3}{6000 \text{ см}^2} \approx 1,7 \cdot 10^{-7} \text{ см.}$$

Ҳозирги вақтда атом ва молекулалар борлигини исботлашнинг ҳамма усулларини айтиб ўтиришга эҳтиёж йўқ. Замонавий асбоблар алоҳида атом ва молекулаларнинг тасвирини кўришга Имкон беради. 3-расмда вольфрам нинанинг учид атомларнинг жойлашиш манзараси кўрсатилган. Бу манзара ионли проектор деб аталадиган асбобда олинган. Расмдаги ёруғ доғлар айрим атомларнинг тасвирини билдиради.

4-расмда кремний пластинканинг микрофотографияси кўрсатилган, бундаги дўнгликлар алоҳида кремний атомларидир. Бундай тасвирларни



биринчи бўлиб 1981 йилда, одатдаги оптик асбоблар билан эмас, балки мураккаб туннелли микроскоп деб аталувчи асбобларда оладиган бўлдилар.

Молекулаларнинг, шу жумладан зайтун мойи молекулаларининг ўлчамлари атомлар ўлчамларидан катта. Атомлар диаметри 10^{-8} см тартибда бўлади. Бу ўлчамлар шу қадар кичикки, уларни тасаввур қилолмайсан киши. Бундай ҳолларда тасаввур этишга қиёс қилиш ёрдам беради. Мана, улардан бири.

Агар панжаларингизни сиқиб қўлингизни мушт қилсангизда, муштингизни Ер шаридек қилиб катталаштирсангиз, мана шундай катталаштиришда атом сизнинг муштингизча келади.

Молекулалар сони. Молекулаларнинг ўлчами ниҳоятда кичик бўлгани ҳолда, ҳар қандай макроскопик жисмда молекулалар ғоят кўп бўлади. Массаси 1 г, бинобарин ҳажми 1 см^3 бўлган сув томчисида тахминан қанча молекула борлигини ҳисоблаб кўрамиз. Сув молекуласининг диаметри тахминан $3 \cdot 10^{-8}$ см га тенг. Молекулалар зич жойлашган ҳолда ҳар бир молекула ($3 \cdot 10^{-8} \text{ см}^3$) ҳажм эгаллайди деб ҳисоблаб, томчида неча молекула борлигини топамиз; бунинг учун сувнинг 1 см^3 ҳажмини ҳар бир молекула эгаллаган ҳажмга бўламиз:

$$N = \frac{1 \text{ см}^3}{(3 \cdot 10^{-8})^3 \text{ см}^3} \approx 3,7 \cdot 10^{22}.$$

Сиз ҳар бир нафас олганингизда ўпкангизга шунча ҳаво молекуласи тортаркансиз, агар улар оғзингиздан чиққандан кейин Ер атмосферасида бир текис тақсимланса, сайёраимиздаги ҳар бир киши бир нафас олишда сизнинг ўпкангизга кириб чиққан молекулалардан тахминан иккита-учтасини ютган бўлар эди.

Атомнинг ўлчамини ёдда сақланг: $D \approx 10^{-8} \text{ см} = 10^{-10} \text{ м}$. 1 г сувдаги молекулалар сонини эслаб қолмасан ҳам бўлади.

Молекуляр-кинетик назариянинг учта қоидаси кўп марта тилга олинади. Сиз уларни билиб қўйишингиз керак.

?

1. Зайтун мойи молекуласининг ўлчамини чамалаш учун нималарни ўлчаш кераклигини эсланг.
2. Агар атом кўкнори доница ($0,1 \text{ мм}$) катталашса, шундай каатталаштиришда кўкнори дони қандай жисмдек бўлади?
3. Молекулалар мавжудлигининг бу китобда тилга олинмаган исботларини санаб чиқинг.

2-§. МОЛЕКУЛАЛАРНИНГ МАССАСИ. МОДДА МИҚДОРИ

Атом ва молекулаларнинг массаси бир-биридан кўп фарк қилади. Уларни қандай миқдорлар билан ифода қилиш қулай? Ҳар қандай макроскопик жисмдаги атомлар сонини қандай қилиб аниқлаймиз?

Модда миқдори деб аталадиган янги катталиқ пайдо бўлади. Ўзлаштиришингиз бироз қийин бўлади, чунки учта муҳим

тушунчани, бир сонни ва камида учта формулани эслаб колиш лозим. Лекин буларнинг деярли ҳаммаси Сизга IX синф химия курсида учраган.

Сув молекуласининг массаси. Алоҳида молекула ва атомларнинг массаси жуда кичик. Масалан, 1 г сувда $3,7 \cdot 10^{22}$ дон молекула бўлади. Бинобарин, сувнинг битта молекуласи (H_2O) нинг массаси:

$$m_{0H_2O} \approx \frac{1g}{3,7 \cdot 10^{22}} \approx 2,7 \cdot 10^{-23} \text{ г} \quad (1.1)$$

Бошка моддалар молекулаларининг массаси ҳам шу тартибда бўлади; органик моддалар, масалан, оксиллар бундан мустасно бўлиб, уларнинг йирик-йирик молекулаларининг массаси алоҳида атомларнинг массасидан юз минглаб марта ортик бўлади. Аммо, барибир, макроскопик масштаблар (граммлар ва килограммлар) да уларнинг массалари жуда кичикдир.

Нисбий молекуляр масса. Молекулаларнинг массаси жуда кичик бўлгани туфайли ҳисоб ишларида массаларнинг ҳақиқий қийматларидан эмас, балки нисбий қийматларидан фойдаланиш кулай. Халқаро келишувга мувофиқ ҳамма атом ва молекулаларнинг массалари углерод атоми массасининг $1/12$ қисми билан таққосланади (атом массаларининг углерод асос қилиб олинган шкаласи)¹.

Модданинг M_r нисбий молекуляр (ёки атом) массаси деб шу молекула (ёки атом) m_0 массасининг углерод атоми m_{0C} массасининг $1/12$ қисмига нисбатига айтилади:

$$M_r = \frac{m_0}{\frac{1}{12} m_{0C}} \quad (1.2)$$

Ҳамма химиявий элементларнинг нисбий атом массалари жуда аниқ ўлчаб топилган. Модда молекуласи таркибига кирувчи элементларнинг нисбий атом массаларини қўшиб модданинг нисбий молекуляр массасини ҳисоблаб чиқариш мумкин. Масалан, карбонат ангидрид CO_2 нинг нисбий молекуляр массаси тахминан 44 га тенг, чунки углероднинг нисбий атом массаси роса 12 га тенг, кислородники эса тахминан 16 га тенг: $12 + 2 \cdot 16 = 44$.

Модда микдори ва Авогадро доимийси. Модда микдорини жисмдаги молекула ёки атомлар сони билан ўлчаш табиийроқ

¹ Атом ва молекулаларнинг массаларини углерод атоми массасининг $1/12$ қисми билан солиштириш тўғрисидаги келишув 1961 йилда қабул қилинган. Углерод ниҳоятда кўп химиявий бирикмалар таркибига киргани учун углерод массаси асос қилиб олинган. Атомларнинг нисбий массаларини бутун сонларга яқин қилиш учун $1/12$ кўпайтувчи олинган. Углероднинг нисбий массаси роппалароса 12 га тенг, водородники эса 1 га жуда яқин.

бўлур эди. Бирок ҳар қандай макроскопик жисмдаги молекулалар сони ниҳоятда катта бўлгани сабабли ҳисоб ишларида молекулаларнинг ҳақиқий сонидан эмас, балки нисбий сонидан фойдаланилади.

Халқаро бирликлар системасида модда миқдори *моль* ҳисобида ифодаланади. Бир моль — модданинг шундай миқдорики, ундаги молекула ва атомлар сони массаси 0,012 кг бўлган углероддаги атомлар сонига тенг.

Демак, ҳар қандай модданинг 1 моль миқдоридаги атом ёки молекулалар сони бир хил бўлади. Бу сон N_A билан белгиланади ва XIX асда яшаган итальян олими шарафига *Авогадро доимийси* деб аталади.

Авогадро доимийсини аниқлаш учун битта углерод атомининг массасини топиш керак. Бу массани олдин сув молекуласи массасини аниқлашдаги каби йўл билан тахминан аниқлаш мумкин (аниқрок натижа берадиган усуллар ионлар дастасининг электромагнит майдонда оғишига асосланади).

Ўлчаш натижасида углерод атомининг массаси $m_{oc} = 1,995 \times 10^{-26}$ кг экани топилган.

Авогадро доимийси N_A ни топиш учун бир моль миқдоридаги углероднинг массасини углерод атомининг массасига бўлиш керак:

$$N_A = 0,012 \frac{\text{кг}}{\text{моль}} \cdot \frac{1}{m_{oc}} = 0,012 \frac{\text{кг}}{\text{моль}} \cdot \frac{1}{1,995 \cdot 10^{-26} \text{ кг}} = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}.$$

$$\boxed{N_A \approx 6 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}} \quad (1.3)$$

Ўлчов бирлигининг номи моль⁻¹ бўлиши шуни билдирадики, N_A — бир моль миқдорида олинган ҳар қандай моддадаги атомлар сонидир. Агар модда миқдори $\nu = 2,5$ моль бўлса, жисмда $N = \nu N_A \approx 1,5 \cdot 10^{24}$ донга молекула бўлади. Шундай қилиб, модданинг миқдори ν ўша жисмдаги молекулаларнинг сони N нинг Авогадро доимийси N_A га, яъни 1 моль моддадаги молекулалар сонига нисбатига тенг:

$$\boxed{\nu = \frac{N}{N_A}} \quad (1.4)$$

Авогадро доимийсининг ниҳоятда катта бўлиши микроскопик масштаблар макроскопик масштабларга қараганда ниҳоятда кичик эканлигини билдиради. Моддасининг миқдори 1 моль бўлган жисм бизнинг кўзимиз ўрганган макроскопик ўлчамларга эга бўлиб, массаси бир неча ўн грамм келади.

Моляр масса. Физика ва химияда нисбий молекуляр масса M_r ,

билан бир қаторда моляр масса M тушунчаси кенг ишлатилади. **Бир моль модданинг массаси моляр масса деб аталади.**

Бу таърифга асосан, моляр масса молекуланing массаси билан Авогадро доимийсининг кўпайтмасига тенг:

$$M = m_0 N_A \quad (1.5)$$

Ҳар қандай миқдордаги модданинг массаси m битга молекула массаси билан жисмдаги молекулалар сонининг кўпайтмасига тенг:

$$m = m_0 N \quad (1.6)$$

(1.4) формулага N_A ва N нинг (1.5) ва (1.6) формулалардан чиқадиган ифодаларини қўйиб, модда миқдори ν ни топамиз:

$$\nu = \frac{m}{M} \quad (1.7)$$

Модда миқдори модда массасининг унинг моляр массасига нисбатига тенг. IX сиф химия дарслигида модда миқдори айна мана шундай таърифланади.

Массаси m ва моляр массаси M бўлган моддадаги молекулалар сони (1.4) ва (1.7) формулаларга асосан қуйидагича бўлади:

$$N = \nu N_A = N_A \frac{m}{M} \quad (1.8)$$

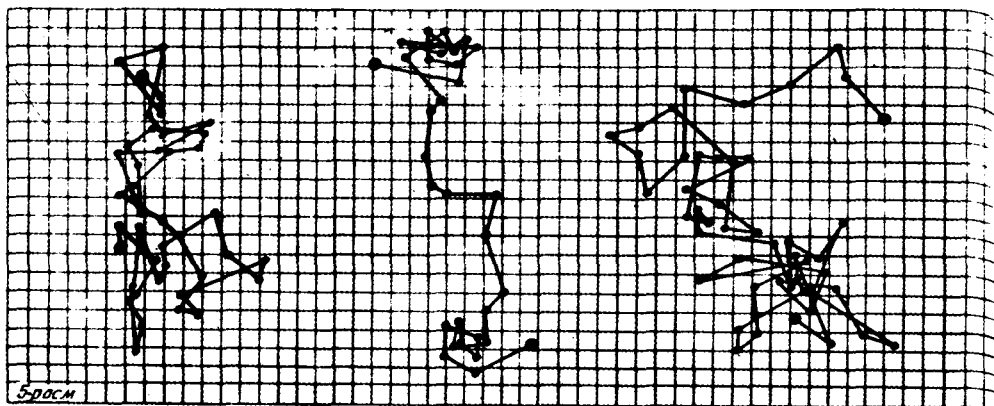
Авогадро доимийсини эслаб қолинг: биринчи сон 6 ни ва 10^{23} нинг тартибини билиш кифоя. 2 г водородда, 18 г сувда ва ҳоказоларда ўшанча молекула бўлади. (1.2), (1.4) ва (1.5) формулалар нисбий молекуляр масса, модда миқдори ва моляр масса каби янги физик миқдорларнинг таърифини беради. Уларни келтириб чиқариб бўлмайди, уларни ёдлаб қолиш керак. Бошқа формулаларни, масалан, (1.7) ва (1.8) формулаларни келтириб чиқариш мумкин.

- ?
1. Сувнинг нисбий молекуляр массаси нимага тенг? 2. Икки моль сувда қанча молекула бор? 3. Бир литр сувда қанча модда миқдори бор?
 4. M моляр масса нисбий молекуляр массага $M \approx 10^{-3} M_0 \cdot \text{кг} \cdot \text{моль}^{-1}$ муносабат орқали боғланганини исбот қилиб кўринг.

Бунинг учун (1.5), (1.2) формулалардан, шунингдек, углерод атоми массасининг қийматидан ва Авогадро доимийсидан фойдаланинг. Бу фойдали формуладан бир қатор масалаларни ечишда фойдаланишингиз мумкин.

3-§. БРОУН ҲАРАКАТИ

Сиз ҳозир молекулалар иссиқлик ҳаракатининг шубҳасиз исботи билан (молекуляр-кинетик назариянинг иккинчи асосий қондаси билан) танишасиз. Албатта микроскоп орқали кузатиб.



унда Броун зарралари қандай ҳаракатланишини кўришга ҳаракат қилинг.

VII синфда сиз диффузия билан, яъни бир-бирига бевосита теккизилганда газлар, суюқлик ва қаттиқ жисмларнинг аралашishi ҳодисаси билан танишган эдингиз. Бу ҳодисанинг юз беришига молекулаларнинг тартибсиз ҳаракати сабаб бўлади. Бирор қаттиқ модданинг сувда муаллақ ҳолда юрган жуда майда зарралари микроскоп орқали кузатилганда молекулаларнинг ҳаракат қилиши яққол исбот этилади. Бу зарралар тартибсиз ҳаракат қиладилар ва бу ҳаракат Броун ҳаракати деб аталади.

Броун ҳаракати суюқликда (ёки газда) муаллақ ҳолда юрган зарраларнинг иссиқлик ҳаракатидир.

Броун ҳаракатини кузатиш. Бу ҳодисани инглиз ботаниги Р. Броун (1733—1858) биринчи бўлиб 1827 йилда сувда муаллақ ҳолда юрган плаун спораларини микроскоп орқали кузатганда кўрган. Кейинчалик Броун бошқа майда зарраларни, шу жумладан Миср эҳромларининг майда тошларини ҳам кузатган. Ҳозир эса Броун ҳаракатини кузатиш учун одатда сувда эримайдиган гуммигут бўёғининг зарралари қўлланилади. Бу зарралар тартибсиз ҳаракат қилади. Қишини ҳайратга соладиган ва одатдан ташқари бўлган нарса бу ҳаракатнинг ҳеч тўхтамаслигидир. Биз ахир ҳаракатланаётган ҳар қандай жисмнинг эртами-кечми тўхташига одатланиб қолганмиз. Дастлаб, Броун ҳам плаун спораларини тириляпти деб ўйлаган.

Броун ҳаракати иссиқлик ҳаракати бўлиб, у ҳеч қачон тўхтай олмайди. Ҳарорат кўтарилиши билан бу ҳаракат янада жадаллашади. 5-расмда Броун зарралари ҳаракатининг схемаси кўрсатилган. Зарраларнинг нуқталар билан белгиланган вазиятлари тенг вақтлар (30 с) оралатиб қайд қилинган. Бу нуқталар тўғри чизиқлар билан туташтирилган. Аслида эса зарраларнинг траекториялари анча мураккаброк.

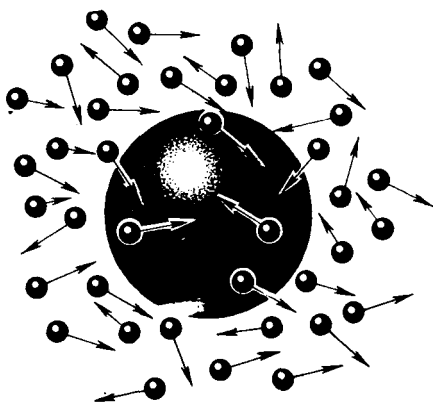
Броун ҳаракатини газда ҳам кузатиш мумкин. Ҳавода муаллақ холда юрган чанг ёки тутун зарралари шундай ҳаракат қилади.

Броун ҳаракатини немис олими Р. Поль (1884—1976) жуда чиройли тавсифлайди. Кузатувчини Броун ҳаракатидек маҳлиё қилувчи ҳодисалар табиатда унча кўп эмас. Бу ерда кузатувчи табиат ҳодисасининг ички томонини кўришга имкон топади. Кузатувчининг кўзи ўнгида янги олам — бетўхтов ғужгон ўйнаётган сон-саноксиз зарралар олами очилади. Жуда майда зарралар ҳаракат йўналишини деярли бир онда ўзгартириб, микроскопнинг кўриш майдонидан тез-тез ўтиб туради. Каттарок зарралар секинроқ ҳаракатланади, лекин улар ҳам ҳаракат йўналишини муттасил ўзгартириб боради. Катта зарралар амалда бир жойда туртиниб-суртиниб туради. Катта зарраларнинг киррадор жойлари уларнинг фазода ўз йўналишини доимо ўзгартириб турадиган ўк атрофида айланиб туришини яққол кўрсатади. Ҳеч бир ерда система ёки тартибдан асар йўқ. Қурук тасодиф ҳукм сурган бу манзара кузатувчига жуда кучли таъсир кўрсатиб, уни тонг қолдиради. Қишининг бу манзарадан олган таассуротини ҳеч қандай сўз билан тавсифлаб бўлмайди.

Ҳозирги вақтда *Броун ҳаракати* тушунчаси кенгрок маънода ишлатилади. Масалан, сезгир ўлчов асбоблари стрелкаларининг титраши Броун ҳаракати ҳисобланади. Бу ҳаракат асбоб деталлари атомларининг ва атрофдаги муҳит атомларининг иссиқлик ҳаракати туфайли юз беради.

Броун ҳаракатининг юзага келиш сабаблари. Броун ҳаракатининг юзага келиш сабабларини молекуляр-кинетик назария асосидагина тушунтириш мумкин. *Зарранинг тартибсиз ҳаракат қилишига сабаб шуки, суюқлик молекулаларининг заррага берадиган зарблари, бир-бирини мувозанатлай олмайди.* 6-расмда битта Броун заррасининг ва унга яқин турган молекулаларнинг вазияти схематик равишда кўрсатилган. Молекулалар тартибсиз ҳаракат қилгани сабабли, уларнинг Броун заррасига берадиган импульслари, масалан, ўнгдан ва чапдан берадиган импульслари бир хил бўлмайди. Шунинг учун Броун заррасининг ҳаракатини ўзгартиришга сабаб бўлган натижаловчи босим кучи нолдан фарқ қилади.

Ўртача босим газда ҳам, суюқликда ҳам маълум қийматга эга. Бироқ ҳамиша ўртача қийматдан арзимаган даражада бўлса ҳам тасодифий фарқлар бўлиб туради. Жисмнинг (зарранинг) юзаси



расм

қанчалик кичик бўлса, унга таъсир қилувчи босим кучининг қиймати шунчалик кўп ўзгаради. Масалан, зарра сиртининг юзаси молекуланинг бир неча диаметри катталигида бўлса, унга молекула урилганда таъсир этувчи куч нолдан бирор қийматга қадар сакраб ўзгаради.

Броун ҳаракатининг молекуляр-кинетик назариясини 1905 йилда А. Эйнштейн (1879—1955) яратган.

Броун ҳаракати назариясининг яратилиши ва уни француз физиги Ж. Перрен тажрибада тасдиқлаши натижасида молекуляр-кинетик назария узил-кесил ғалаба қозонди

Сиз иссиқлик ҳаракати мавжудлигини ўз кўзингиз билан кўриб ишондингиз; тартибсиз ҳаракат қандай бўлишини кўрдигиз. Молекулалар Броун заррасидан ҳам тартибсизрок ҳаракат қилади.

- ?
1. Нима учун сизнинг танангиз Броун ҳаракати қилмайди?
 2. Агар тўқнашганда молекулалар Броун заррасига ёпишиб қолса, Броун ҳаракати юз берармиди? Сиз нима деб ўйлайсиз?

4-§. МОЛЕКУЛАЛАРНИНГ УЗАРО ТАЪСИР КУЧЛАРИ

Модомики, молекулалар мавжуд бўлиб, улар ҳаракат қилар экан, улар орасида албатта кучлар таъсир қилади. Бу ўзаро таъсирсиз на қаттиқ жисмлар, на суюқ жисмлар бўлолмас эди.

Атомлар ёки молекулалар ўртасида анчагина катта ўзаро таъсир кучлари борлигини исбот қилиш қийин эмас. Йўғон таёқни синдириб кўринг-чи! Ахир у молекулалардан тузилган. Агар молекулалар ўртасида тортишиш кучлари бўлмаганда эди, унда ҳамма моддалар ҳар қандай шароитда ҳам фақат газ ҳолатида бўлган бўлура эди. Бирок тортишиш кучларининг ёлғиз ўзи атом ва молекулалардан тузилган системаларнинг турғунлигини таъминлай олмайди. Молекулалар бир-бирига жуда яқин келиб қолганда улар орасида албатта итаришиш кучлари таъсир қилади. Шу туфайли молекулалар бир-бирининг ичига кириб кетмайди ва модданинг бўлакчалари ҳеч қачон битта молекуланинг ўлчамичалик ўлчамгача сиқилмайди.

Молекулаларнинг ўзаро таъсири қандай пайдо бўлади? Молекула мураккаб система бўлиб, электрон ва ядролардан (атом ядроларидан) иборат зарядли зарралардан тузилади. Гарчи бутунлигича олиб қаралганда молекулалар электр жиҳатдан нейтрал бўлса-да, бир-бирига жуда яқин келганида улар орасида анча катта электр кучлари таъсир қилади: кўшни молекулаларнинг электронлари билан ядролари ўзаро таъсирлаша бошлайди.

Агар молекулалар бир-биридан ўз ўлчамларидан бир неча марта катта бўлган масофада бўлса, улар орасида ўзаро таъсир кучлари деярли бўлмайди. Электр жиҳатдан нейтрал бўлган

молекулалар орасидаги кучлар қиска масофада юзага келадиган кучлардир.

Молекулалар орасидаги масофа молекуланинг диаметридан 2—3 марта катта бўлганда, тортишиш кучлари таъсир қилади. Молекулалар орасидаги масофа қисқарган сари дастлаб тортишиш кучи ортади. Лекин молекулалар тобора яқинлаша боргач, итаришиш кучи дастлаб ортади, сўнгра камайиб, молекулалар орасидаги масофа молекулалар радиуслари йиғиндисига тенглашганда нолгача камаяди.

Агар масофа камаёверса, атомларнинг электрон қобиклари бир-бирининг ичига ўта бошлайди ва молекулалар орасида тез ортиб кетувчи итаришиш кучлари пайдо бўлади.

Атом ва молекулалар электр зарядли зарралардан тузилган. Кичик масофаларда кучларнинг таъсир қилиши туфайли зарралар тортилади, лекин атомларнинг электрон қобиклари бир-бирининг ичига кира бошлаганда зарралар итаришади.

- ! 1. Кесилган жойлари силлиқ ва тоза бўлган икки бўлак қўрғошин бир-бирига ўша жойидан бириктириб сиқилганда ёпишиб қолади. Нима учун шундай бўлади? 2. Агар икки бўлак бўр кесилган жойидан бир-бирига сиқилса, маҳкам бирикмайди. Нима учун шундай бўлади?

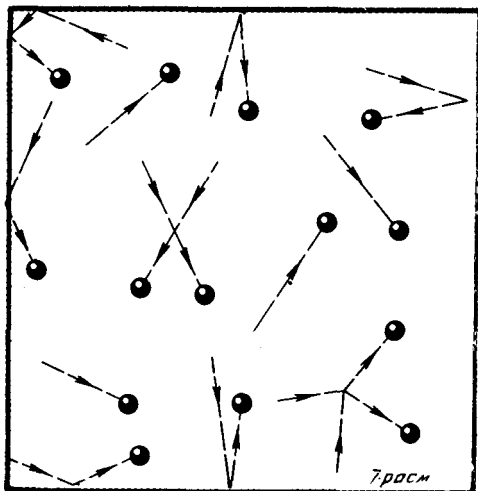
5-5. ГАЗСИМОН, СУЮҚ ВА ҚАТТИҚ ЖИСМЛАРНИНГ ТУЗИЛИШИ

Молекуляр-кинетик назария модданинг газсимон, суюқ ва қаттиқ ҳолатларда бўла олиш сабабини тушунишга имкон беради.

Газлар. Газларда атом ёки молекулалар орасидаги масофа ўрта ҳисобда молекулаларнинг ўз ўлчамларидан кўп марта катта бўлади (7- расм). Масалан, атмосфера босимида газли идишнинг ҳажми шу идишдаги газ молекулаларининг ҳажмидан бир неча ўн минг марта ортик бўлади.

Газлар осонгина сиқилади, чунки газ сиқилганда молекулалар орасидаги ўртача масофагина камаяди, лекин молекулалар бир-бирини «эзмайди» (8- расм).

Молекулалар фазода секундига бир неча юз метрга тўғри келадиган жуда катта тезликлар билан ҳаракат қилади. Бир- бири билан тўқнашганда улар миллиард соқкалари сингари ҳар то-



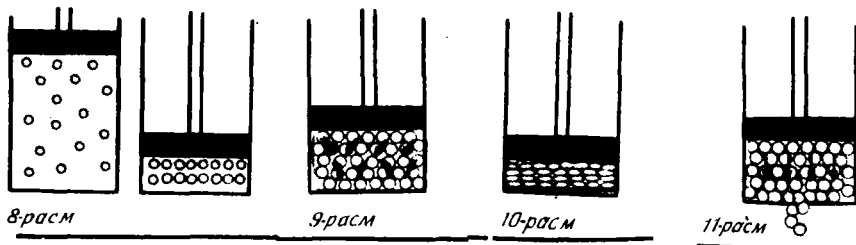
монга сапчиб кетади. Газ молекулалари ўртасидаги заиф тортишиш кучлари уларни бир-бирининг яқинида тутиб туrolмайди. Шунинг учун газлар чексиз кенгай олади. Уларнинг шакли ҳам, ҳажми ҳам ўзгармай қолмайди.

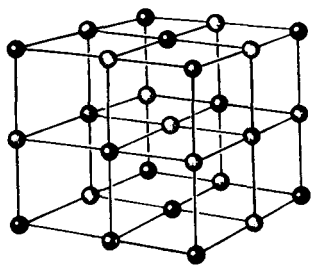
Молекулаларнинг идиш деворига берадиган сон-саноксиз зарблари газ босимини ҳосил қилади.

Суюкликлар. Суюкликларда молекулалар бир-бирига деярли такалиб туради (9-расм). Шунинг учун суюкликнинг молекуласи газ молекуласидан бошқача ҳаракат қилади. Бошқа молекулалар қуршовидаги «қафасга» қамалгандек бўлиб қолган молекула қўшни молекулалар билан тўкнашиб, «турган жойида югуради», яъни мувозанат вазияти атрофида тебранади. Фақат ахён-ахёнда у «қафаснинг симлари» орасидан «сакраб ўтади» ва шу захоти яна бошқа қўшни молекулалар қуршовида ҳосил бўлган янги «қафасга» тушиб қолади. Сув молекуласининг ўтrock ҳолдаги умри, яъни тайинли бир мувозанат вазияти атрофида тебраниш вақти уй ҳарорати (температураси) шароитида ўрта ҳисобда 10^{-11} с га тенг. Молекуланинг бир тебраниш вақти янада кичик (10^{-12} — 10^{-13} с). Ҳарорат кўтарилиши билан молекулаларнинг ўтrock ҳолдаги умри кискарadi. Суюкликларда бўладиган молекулар ҳаракатнинг биринчи бўлиб совет физиги Я. И. Френкель аниқлаган характери суюкликларнинг асосий хоссаларини тушуниб етишга имкон беради.

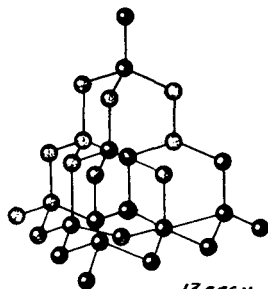
Суюклик молекулалари бир-бирига деярли такалиб туради. Шунинг учун суюклик ҳажмини ниҳоятда оз микдорда ўзгартиришга уринганимизда ҳам молекулаларнинг ўзи деформациялана бошлайди (10-расм). Бунинг учун жуда катта кучлар керак бўлади. Суюкликларнинг кам сиқилувчанлиги сабаби ҳам ана шундадир.

Маълумки, суюкликлар оқувчандир, яъни ўз шаклини сақлаб қололмайди. Бунинг сабаби қуйидагича. Агар суюклик окмаса, унда молекулалар бир «ўтrock» ҳолатдан бошқасига ҳамма йўналишларда бир хил частота билан сакраб ўтади (9-расмга қаранг). Ташқи куч молекулаларнинг вақт бирлиги (секунд) ичида сакрашлари сонини сезиларли ўзгартирмайди. Бирок бунда молекулалар бир «ўтrock» ҳолатдан бошқасига асосан ўша ташқи куч йўналишида сакраб ўтади (11-расм). Суюклик





12-расм



13-расм

окишининг ва идиш шаклини олишининг сабаби худди ана шундадир.

Қаттиқ жисмлар. Қаттиқ жисмларнинг атом ёки молекулалари суюқликларникидан фарқли ўлароқ тайинли мувозанат вазиятлари атрофида тебранади. Тўғри, баъзан қаттиқ жисм молекулалари мувозанат вазиятини ўзгартиради, лекин бундай ҳоллар камдан-кам бўлади. Ана шу сабабдан қаттиқ жисмлар *ҳажминигина эмас, балки шаклини ҳам ўзгартирмайди.*

Суюқликлар билан қаттиқ жисмлар ўртасида яна бир муҳим фарқ бор.

Суюқликни одамлар бир жойда безовталаниб турган оломонга ўхшатиш мумкин, қаттиқ жисм эса одамлар жойларида тик қотиб турмасалар-да, бир-бирларидан ўрта ҳисобда маълум масофада турган мунтазам сафга ўхшайди. Агар қаттиқ жисм атомлари ёки ионларининг мувозанат вазиятлари марказлари туташтирилса, *кристалл панжара* деб аталадиган фазовий мунтазам панжара ҳосил бўлади.

12 ва 13-расмларда ош тузи ва олмоснинг кристалл панжаралари кўрсатилган. Кристалллар атомларининг жойла-



14-расм



Френкель Яков Ильич (1894—1952) — физиканинг турли соҳаларига салмоқли ҳисса қўшган машҳур совет физик-назарётчиси. Я. И. Френкель модданинг суюқ ҳолати ҳозирги замон назариясининг муаллифи. У ферромагнетизм назариясига асос солган. Я. И. Френкелнинг атмосфера электрига ва Ер магнит майдонининг келиб чиқишига оид ишлари жуда машҳурдир. Уран ядролари бўлинишининг биринчи миқдорий назариясини Я. И. Френкель яратган.

шишидаги ички тартиб туфайли кристалларнинг ташки кўри-ниши ҳам мунтазам геометрик шакл олади.

14-расмда Екутистон олмослари кўрсатилган.

Газда молекулалар орасидаги l масофа молекулаларнинг r_0 ўлчамларидан кўп марта катта: $l \gg r_0$.

Суюқлик ва қаттиқ жисмларда $l \approx r_0$. Суюқлик молекулалари тартибсиз жойлашган бўлиб, вақти-вақти билан бир ўтроқ вазиятдан бошқасига сакраб ўтиб туради. Кристалл қаттиқ жисмларда молекулалар (ёки атомлар) қатъий тартиб билан жойлашган.

- ! 1. Газ чексиз кенгая олади. Нима учун Ер атмосфераси мавжуд? 2. Газ, суюқлик ва қаттиқ жисм молекулаларининг тахминий ҳаракат траекторияси қандай бўлишини чизиб кўрсатинг. 3. Нима учун суюқликни сиқиш қаттиқ жисмни сиқиш каби қийин?

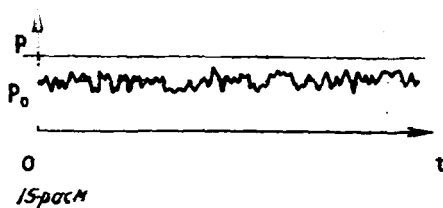
6-§. МОЛЕКУЛЯР-КИНЕТИК НАЗАРИЯДА ИДЕАЛ ГАЗНИНГ ТАЛҚИНИ

Биз курснинг биринчи қисмининг энг мураккаб масаласига яъни газнинг миқдорий назариясига киришамиз. Аввало сийрак газнинг физик моделини киритамиз.

Модданинг асосий хоссаларини молекуляр-кинетик назарияга асосланиб туриб сифат томонидан изоҳлаб бериш унча қийин эмас. Бироқ тажрибада ўлчанадиган миқдорлар (босим, ҳарорат ва бошқалар) билан молекулаларнинг хоссалари, сони ва гезлиги орасидаги миқдорий муносабатларни топадиган назария анча мураккаб. Биз анча сийрак газлар назарияси билангина ганишамиз.

Идеал газ. Сийрак газда молекулалар орасидаги мософалар уларнинг ўлчамларидан кўп марта ортик. Бу ҳолда молекулалар орасидаги ўзаро таъсир эътиборга олинмайдиган даражада кичик бўлиб, молекулаларнинг кинетик энергияси ўзаро таъсирнинг потенциал энергиясидан анча катта. Газ молекулаларини жуда кичик қаттиқ шарчалар деб ҳисоблаш мумкин. Молекулалари

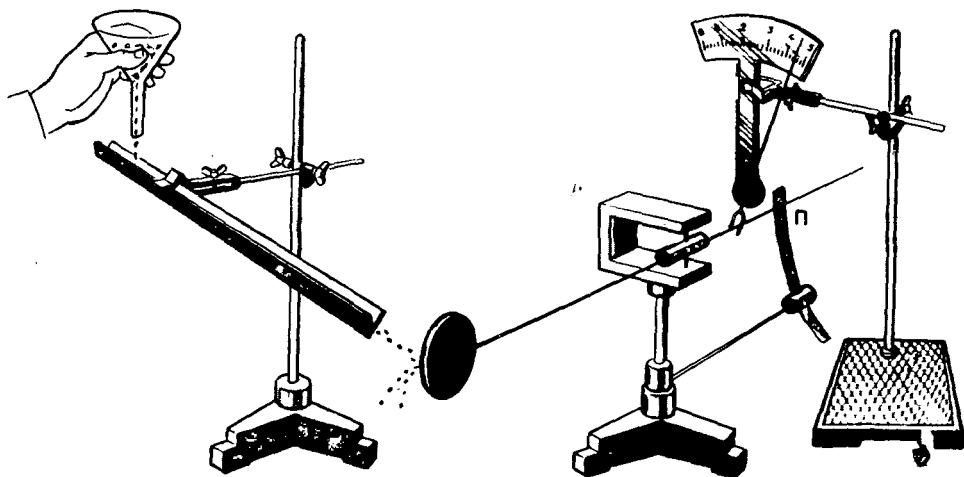
ўртасида мураккаб ўзаро таъсир кучлари таъсир этадиган реал газ ўрнига биз унинг физик моделини кўриб чиқамиз. Бу модель идеал газ деб аталади. Идеал газ — молекулалари орасидаги ўзаро таъсир кучлари эътиборга олинмайдиган даражада кичик бўлган газдир.



Физик моделда реал системанинг фақат бу система характерининг тадқиқ этилаётган қонуниятларини изохлаб бериш учун жуда зарур бўлган хоссаларигина ҳисобга олинади. Ҳеч бир модель системанинг ҳамма хоссаларини акс эттира олмайди. Лекин биз ҳозир анча содда масалани ҳал қиламиз: сийрак газнинг идиш деворига берадиган босимини молекуляр-кинетик назариядан фойдаланиб ҳисоблаб чиқарамиз. Бу масалани ҳал қилиш учун идеал газ модели жуда қаноатланарли бўлади. Бу масала тажрибада тасдиқланадиган натижалар беради. Реал сийрак газлар ҳақиқатан ҳам идеал газга ўхшар экан.

Молекуляр-кинетик назарияда газ босимининг талқини. Газ ёпиқ идишда турган бўлсин. Манометр газнинг босими p_0 эканлигини кўрсатиб турибди. Бу босим қандай қилиб пайдо бўлади?

Газнинг ҳар бир молекуласи идиш деворига урилиб, жуда қиска вақт давомида деворга маълум бир куч билан таъсир қилади. Молекулаларнинг деворга тартибсиз урилишлари натижасида деворнинг бирлик юзига ҳамма молекулалар томонидан таъсир этадиган куч, яъни босим вақт ўтиши билан тахминан 15-расмда кўрсатилгандек тез ўзгаради. Бирок айрим молекула-



ларнинг зарбаларидан пайдо бўлган таъсирлар шунчалик заифки, уларни манометр кайд қилмайди. Манометр ўзининг сезгир элементи ҳисобланган мембранасининг ҳар бир квадрат сантиметрига таъсир этувчи кучнинг бирор вақт ичидаги ўртача қийматини кайд қилади. Босимнинг унча-мунча ўзгаришларига карамай босимнинг ўртача қиймати p_0 амалда жуда аниқ микдор бўлади, чунки деворга берилаётган зарблар жуда кўп, молекулаларнинг массаси эса жуда кичик.

Газ босимининг пайдо бўлишини оддийгина механик модель ёрдамида тушунтириш мумкин.

Диск оламиз (бу диск манометр мембранаси ўрнида ишлатилади), уни стержень шундай маҳкамлаб қўямизки, бунда диск ўзи вертикал вазиятда туриб, стержень билан бирга ўк атрофида айланадиган бўлсин (16-расм). Қия новдан дискка майда питралар туширамиз (питралар молекулалар ўрнида олинади). Питраларнинг кўпдан-кўп зарблари натижасида дискка бирор ўртача куч таъсир қилади, бу куч стерженьни буриб, эластик P пластинкани эгади. Алоҳида питралар зарбининг таъсири эса сезилмайди.

Идеал газ — реал газнинг моделидир. Бу газнинг молекулалари бир-бири билан таъсирлашмайдиган майда шарчалардир. Идиш деворига урилганда газ молекулалари унга босим беради.

- ! 1. Реал газ моделининг идеаллиги нимада? 2. Газ идиш деворига босим беради. Газнинг бир қатлами бошқасига босим берадими?

7-§. МОЛЕКУЛАЛАР ТЕЗЛИГИ КВАДРАТИНИНГ ЎРТАЧА ҚИЙМАТИ

Ўртача босимни ҳисоблаб топиш учун молекулаларнинг ўртача тезлигини (аниқроғи, тезлик квадратининг ўртача қийматини) билиш керак. Бу оддийгина масала эмас. Сиз ҳар бир зарранинг тезлиги борлигига ўрганиб қолгансиз. Молекулаларнинг ўртача тезлиги эса ҳамма зарраларнинг ҳаракатига боғлиқ.

Ўртача қийматлар. Биз даставвал газ таркиб топган барча молекулаларнинг ҳаракатини кузатишга уринишдан воз кечишимиз лозим. Молекулалар жуда кўп ва улар жуда мураккаб ҳаракат қиладилар. Биз ҳар бир молекуланинг қандай ҳаракат қилишини билишимиз шарт эмас. Биз ҳамма молекулаларнинг ҳаракати қандай натижа беришини аниқлаб олишимиз керак. Газнинг ҳамма молекулалари ҳаракатининг характери тажрибадан маълум (к. «Мукаддима», 3-§). Молекулалар тартибсиз (иссиқлик) ҳаракатида қатнашадилар. Бу эса ҳар қандай молекуланинг тезлиги жуда катта бўлиши ҳам, жуда кичик бўлиши ҳам мумкинлигини, молекулалар бир-бири билан тўқнашганда ҳаракат йўналиши тартибсиз ўзгариб туришини билдиради.

Айрим молекулаларнинг тезликлари ихтиёрий бўлгани ҳолда тезлик модулининг ўртача қиймати мутлақо тайинли бир микдор

бўлади. Шунга ўхшаш, синфдаги ўқувчиларнинг бўйи бир хил эмас. Лекин бўйларининг ўртача қиймати тайинли бир миқдордир. Бунни топиш учун ўқувчиларнинг бўйларини қўшиб чиқиб, бу йиғиндини ўқувчилар сонига бўлиш керак.

Тезлик квадратининг ўртача қиймати. Бундан буён бизга тезликнинг ўзининг ўртача қиймати эмас, балки тезлик квадратининг ўртача қиймати керак бўлади. Молекулаларнинг ўртача кинетик энергияси мана шу миқдорга боғлиқ. Молекулаларнинг ўртача кинетик энергияси эса бутун молекуляр-кинетик назарияда жуда катта аҳамиятга эга. Бунга биз тез орада ишонч ҳосил қиламиз.

Айрим молекулалар тезликларининг модулларини $v_1, v_2, v_3, \dots, v_N$ билан белгилаймиз. Тезлик квадратининг ўртача қиймати қуйидаги формула билан аниқланади:

$$\overline{v^2} = \frac{v_1^2 + v_2^2 + v_3^2 + \dots + v_N^2}{N}, \quad (1.9)$$

бу ерда N — газдаги молекулалар сони.

Бироқ ҳар қандай вектор модулининг квадрати векторнинг Ox, Oy, Oz координата ўқларидаги проекциялари квадратларининг йиғиндисига тенг¹. Шунинг учун

$$v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2. \quad (1.10)$$

$\overline{v_x^2}, \overline{v_y^2}$ ва $\overline{v_z^2}$ ўртача қийматларни (1.9) формулага ўхшаган формулалар ёрдамида аниқлаш мумкин. $\overline{v^2}$ ўртача қиймат билан проекциялар квадратларининг ўртача қиймати орасида (1.10) га ўхшаган муносабат бор:

$$\overline{v^2} = \overline{v_x^2} + \overline{v_y^2} + \overline{v_z^2}. \quad (1.11)$$

Дарҳақиқат, ҳар бир молекула учун (1.10) ифода тўғри. Айрим молекулаларга оид бу ифодаларни қўшиб чиқиб, ҳосил бўлган тенгламанинг иккала томонини молекулалар сони N га бўлсак, (1.11) формула ҳосил бўлади.

Молекулалар ҳаракати тартибсиз бўлганидан Ox, Oy ва Oz йўналишларнинг аҳамияти бир хил бўлгани учун тезлик проекциялари квадратининг ўртача қийматлари бир-бирига тенг:

$$\overline{v_x^2} = \overline{v_y^2} = \overline{v_z^2}. \quad (1.12)$$

Кўряпсизми, ўта тартибсизликдан ҳам маълум бир қонуният келиб чиқмоқда. Ўзингиз буни англаб олармидингиз?

¹ Механика курсидан маълумки, нуқта текисликда ҳаракат қилганда $v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2$ бўлади. (1.10) формула эса ифоданинг жисм фазода ҳаракат қилган ҳолидаги умумлаштирилган шаклидир.

(1.12) муносабатни ҳисобга олиб, (1.11) формулада \bar{v}_y^2 ва \bar{v}_z^2 лар ўрнига \bar{v}_x^2 ни қўямиз. Унда

$$\bar{v}_x^2 = \frac{1}{3} \bar{v}^2, \quad (1.13)$$

яъни тезлик проекциясининг ўртача квадрати тезликнинг ўзининг ўртача квадратининг учдан бир қисмига тенг экан. $1/3$ кўпайтувчи фазо уч ўлчовли бўлгани учун ва мос равишда ҳар қандай векторнинг учта проекцияси бор бўлгани туфайли пайдо бўлган.

Молекулаларнинг тезликлари тартибсиз ўзгаради, лекин тезликнинг ўртача қиймати жуда аниқ миқдордир.

?

1. Уз бармоқларингиз узунликларининг ўртача қийматини топинг.
2. Молекулалар тезликларининг Ox ўқдаги проекцияларининг ўртача қиймати нимага тенг?

8- §. ГАЗЛАР МОЛЕКУЛЯР-КИНЕТИК НАЗАРИЯСИНING АСОСИЙ ТЕНГЛАМАСИ

Биринчи бобнинг энг қизик жойи келяпти: биз газлар молекуляр-кинетик назариясининг асосий тенгламасини чиқаришга киришмоқдамиз¹. Бу тенгламада газнинг босими билан унинг молекулалари ўртача кинетик энергияси орасидаги муносабат топилади. XIX асрда бу тенглама келтириб чиқарилгандан ва унинг тўғри эканлиги тажрибада тасдиқлангандан кейин миқдорий назария тез ривожланди ва ҳозирги кунга қадар ҳам ривожланиб келмоқда.

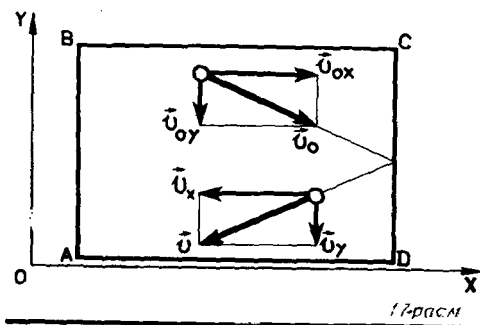
Физикада ҳар қандай даъвонинг исботи, ҳар қандай тенгламанинг келтириб чиқарилиши ҳар хил қатъият билан ва ҳар хил ишонч билан қилинади: жуда соддалаштириб, озми-кўпми изчил ва ҳозирги замон фани қўлга киритган изчиллик билан асосланади.

Молекуляр-кинетик назариянинг тенгламасини изчиллик билан келтириб чиқариш анча мураккаб, уни тушуниш ва эслаб қолиш осон эмас. Шунинг учун биз уни анча соддалаштириб, схематик тарзда келтириб чиқарамиз. Натижа тўғри бўлиб чиқади.

Асосий тенгламани келтириб чиқариш. $ABCD$ идишнинг Ox ўқга тик бўлган S юзли CD кесимига газ берадиган босимни ҳисоблаб топамиз (17- расм). Массаси m_0 бўлган ҳар бир молекула деворга урилганда унга $m_0 v_x$ импульс беради, бу ерда v_x — идиш деворига v тезлик билан учиб келаётган молекуланинг Ox ўқга проекциясидир. Молекула девордан айна ўша модулли тезлик билан орқага сапчиб, деворга яна $m_0 v_x$ импульс беради. Тўқнашиш вақти давомида молекула деворга $2m_0 v_x$ импульс беради.

¹ Бу тенглама молекуляр-кинетик назарияда ҳосил қилинган биринчи миқдорий муносабатдир. Шунинг учун у кўпинча асосий тенглама деб аталади.

Молекулалар кўп ва уларнинг ҳар бири тўқнашганда деворга худди ана шундай импульс беради. Бир секунд ичида улар деворга $2m_0v_xz$ импульс беради, бу ерда z — ҳамма молекулаларнинг бир секунд ичидаги деворга тўқнашишлари сони. Равшанки, z сони молекулаларнинг концентрациясига, яъни ҳажм



бирлигидаги молекулаларнинг $n = \frac{N}{V}$ сонига тўғри пропорционалдир. Ундан ташқари, z сони молекулаларнинг v_x тезлигига ҳам пропорционал бўлади. Бу тезлик қанча катта бўлса, бир секунд ичида деворга уриладиган молекулалар сони шунча кўп бўлади. Агар молекулалар «жойида турса» деворга ҳеч бир молекула урилмас эди. Ундан ташқари, молекулаларнинг деворга тўқнашишлари сони деворнинг юзи S га пропорционалдир: $z \sim nv_xS$. Яна шунини ҳам ҳисобга олиш керакки, ўрта ҳисобда ҳамма молекулаларнинг ярмигина деворга томон ҳаракатланади. Қолган ярми тескари томонга ҳаракатланади. Шунинг учун nv_xS ни иккига бўлиш керак. Унда $z = \frac{1}{2} nv_xS$ бўлиб, 1 с ичида деворга берилган тўлиқ импульс қуйидагича бўлади:

$$2m_0v_xz = m_0n v_x^2 S.$$

Ньютоннинг иккинчи қонунига асосан, ҳар қандай жисм импульсининг вақт бирлиги ичида ўзгариши жисмга таъсир этувчи кучга тенг:

$$F = m_0n v_x^2 S.$$

Молекулаларнинг ҳаммаси ҳам айни бир v_x тезликка эга эмаслигини ҳисобга оламиз. Аслида эса деворга бир секундда таъсир этувчи v_x^2 га пропорционал эмас, балки тезликнинг ўртача \bar{v}_x^2 қийматига пропорционалдир: $\bar{F} = m_0n \bar{v}_x^2 S$. (1.13) формулага асосан $\bar{v}_x^2 = \frac{1}{3} \bar{v}^2$ бўлгани учун $F = \frac{1}{3} nm_0 \bar{v}^2 S$. Шундай қилиб, газнинг идиш деворига берадиган босими

$$p = \frac{\bar{F}}{S} = \frac{1}{3} m_0n \bar{v}^2. \quad (1.14)$$

Бу тенглама молекуляр-кинетик назариянинг асосий тенгламасидир.

(1.14) формула манометр билан ўлчаса бўладиган босим (макроскопик микдор)ни молекулаларни тавсифлайдиган микрос-

копик микдорларга боғлайди; бошқача қилиб айтганда, бу формулани макроскопик олам билан микроскопик олам ўртасига қўйилган кўприк деса бўлади.

Босим билан молекулаларнинг ўртача кинетик энергияси орасидаги муносабат. Агар молекулалар илгариланма ҳаракатининг ўртача кинетик энергиясини \bar{E} билан белгиласак $\left(\bar{E} = \frac{m_0 v^2}{2}\right)$, у ҳолда (1.14) формулани

$$\boxed{p = \frac{2}{3} n \bar{E}} \quad (1.15)$$

шаклида ёзиш мумкин.

Идеал газнинг босими молекулалар концентрацияси билан молекуланинг илгариланма ҳаракатининг ўртача кинетик энергиясининг кўпайтмасига тўғри пропорционалдир.

II бобда молекулаларнинг ўртача кинетик энергияси газнинг ҳароратига боғлиқ эканлигини исбот қиламиз.

Биз идеал газнинг идиш деворига курсатадиган босимини ҳисоблаб топа олдик.

Бу босим молекулалар концентрациясига боғлиқ. Ундан ташқари, газнинг босими молекулаларнинг ўртача кинетик энергиясига пропорционалдир. Бу нарса энг муҳимдир.

- ! 1. Нима учун молекула идиш девори билан тўқнашганда тезликка пропорционал бўлган куч билан таъсир қиладию, босим эса тезликнинг квадратига пропорционал бўлади? 2. Молекуляр-кинетик назариянинг асосий тенгламасида $\frac{1}{3}$ кўпайтувчи қаердан пайдо бўлади? 3.

Молекулаларнинг ўртача кинетик энергияси газнинг концентрациясига ва идиш деворига курсатадиган босимига қандай боғлиқ?

МАСАЛА ЕЧИШ НАМУНАЛАРИ

Биринчи бобга доир ечиладиган масалаларнинг кўпчилигида моддаларнинг моляр массасини аниқлай билиш керак. Бунинг учун Менделеев жадвалидан маълум бўлган нисбий атом массаларига қараб нисбий молекуляр массани, кейин эса $M = 10^{-3} M_r$ кг/моль формуладан фойдаланиб, моляр массани топиш керак, бу ерда M — моляр масса, M_r — нисбий молекуляр масса.

Кўпчилик масалаларда жисмнинг маълум бўлган массасига қараб ундаги модда микдори ёки молекулалар (атомлар) сонини топиш талаб этилади. Бунинг учун $v = \frac{m}{M}$ ва $N = \frac{m}{M} N_A$ формулалар ишлатилади. Авогадро доимийси N_A ни ёдда сақлаш керак. Алоҳида молекулаларнинг массалари $m_0 = \frac{M}{N_A}$ формуладан топилади. Баъзи

масалаларда модданинг массасини унинг зичлиги ρ ва ҳажми V орқали ифодалаш керак.

Масала ечишда юқорида айтилган формулаларни ва 2-§ нинг бошқа формулаларини кўз олдингизга ёзиб қўйинг.

Бир қатор масалаларда молекуляр-кинетик назариянинг асосий тенгламаси (1.14) ёки (1.15) формулалар кўринишида ишлатилади.

1. Сувнинг моляр массасини аниқланг.

Ечилиши. Водороднинг нисбий атом массаси 1,00797 га, кислородники 15,9994 га тенг. Сувнинг химиявий формуласи H_2O . Бинобарин, сувнинг нисбий молекуляр массаси:

$$M_r = 2 \cdot 1,00797 + 15,9994 = 18,01534 \approx 18.$$

$$\text{Сувнинг моляр массаси } M \approx 10^{-3} \cdot 18 \text{ кг/моль} \approx 0,018 \text{ кг/моль}.$$

2. 1 кг карбонат ангидриддаги модда миқдорини ва молекулалар сонини аниқланг.

Ечилиши. Карбонат ангидридниги моляр массаси $M = 0,044$ кг/моль бўлгани учун модда миқдори $\nu = \frac{m}{M} = \frac{1}{0,044}$ моль ≈ 23 моль бўлади. Молекулалар сони $N = \frac{m}{M} N_A = \nu N_A = 23 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \approx 1,4 \cdot 10^{25}$.

3. Ичига газ қамалган электр лампочка баллондаги газнинг зичлиги $\rho = 0,9$ кг/м³. Лампочка ёнганда унинг ичидаги босим $p_1 = 8 \cdot 10^4$ Па дан $p_2 = 1,1 \cdot 10^6$ Па га кадар ортган. Бунда газ молекулаларининг ўртача тезлиги $\bar{v} = \sqrt{\bar{v}^2}$ канчага ортган?

Ечилиши. Битта молекуланинг массаси m_0 билан молекулалар концентрацияси n нинг (бирлик ҳажмдаги молекулалар сонининг кўпайтмаси бирлик ҳажмдаги молекулаларнинг массасига, яъни газнинг зичлиги $\rho = m_0 n$ га тенг. Бинобарин, молекуляр-кинетик назариянинг асосий (1.14) тенгламасини $\rho = \frac{1}{3} \rho \bar{v}^2$ шаклида ёзиш мумкин. Шунинг учун

$$v_2 - v_1 = \sqrt{\frac{3}{\rho} (\rho_2 - \rho_1)} \approx 90 \text{ м/с}.$$

1-МАШҚ

1. Ҳажми 0,02 см³ бўлган зайтун мойи томчиси сув юзига ёйилганда қанча жой эгаллайди?

2. Водород ва гелийнинг моляр массасларини аниқланг.

3. 12 кг углероддаги атомлар сони 16 кг кислороддаги молекулалар сонидан неча марта катта?

4. 1 г сувда неча моль модда бор?

5. 10 г кислородда қанча молекула бор?

6. Азотнинг моляр массаси 0,028 кг/моль. Азот молекуласининг массаси нимага тенг?

7. 1 м³ мисдаги атомлар сонини аниқланг. Миснинг моляр массаси $M = 0,0635$ кг/моль, зичлиги $\rho = 9000$ кг/м³.

8. Олмоснинг зичлиги 3500 кг/м³. Бу модданинг 10²² дона атоми қанча ҳажм эгаллайди?

9. Газ молекулаларининг концентрацияси 3 марта ортиб, уларнинг ўртача тезлиги 3 марта камайса, газ босими қандай ўзгаради?

10. Идишдаги газ молекулалари тезлигининг ўртача квадрати $v^2 = 10^6$ м²/с², молекулалар концентрацияси $n = 3 \cdot 10^{25}$ м⁻³, ҳар бир молекуланинг массаси $m_0 = 5 \cdot 10^{-26}$ кг. Идишдаги газнинг босими нимага тенг?

11. Ҳажми 1,2 л бўлган колбада 3 · 10²² дона гелий атоми бор. Ҳар бир атомнинг ўртача кинетик энергияси қанчага тенг? Колбадаги газнинг босими 10⁵ Па.

12. Идишдаги газнинг массаси $m = 6$ кг, ҳажми $V = 4,9$ м³ ва босими $p = 200$ кПа бўлса, газ молекулалари тезлигининг ўртача квадрати нимага тенг?

I БОБНИНГ ҚИСҚАЧА ЯҚУНЛАРИ

Дастлаб бу бобдаги энг асосий фикрларни ўзингиз мустақил равишда ажратиб чиқиб, унинг яқунларини ёзиб қўйинг. Бу бобдан 7—9 та асосий фикрларни ёзиб, уларни қуйида ёзилганлар билан солиштиринг. Асосий фикрларни аниқлаш осон иш эмас, шунинг учун сизнинг ёзганларингиз бу ерда ёзилганлардан бошқача бўлиши турган гап.

1. Молекуляр-кинетик назариянинг асосий қонуниятларига асосан ҳамма жисмлар молекула (ёки атом)лардан тузилган; молекулалар орасидаги масофа молекуланинг ўзининг ўлчамларидан кичик бўлганда молекулалар орасида итаришиш кучлари таъсир қилади, бир-биридан узокда бўлганда улар орасида тортишиш кучлари таъсир қилади; молекулалар хаотик (иссиқлик) ҳаракатда катнашади.

2. Молекулаларнинг массаси жуда кичик, сони эса катта (макроскопик) жисмларда ниҳоят даражада катта. Шунинг учун макроскопик жисмларда молекулаларнинг массаси ва сони нисбий бирикларда ифодаланади.

3. Нисбий молекуляр (ёки атом) масса деб молекула (ёки атом) массасининг углерод атоми массасининг $\frac{1}{12}$ қисмига нисбатига айти-

лади: $M_r = \frac{m_0}{\frac{1}{12} m_{0C}}$.

4. Модда миқдори моль билан ифодаланади. *Моль* — модданинг шундай миқдорики, ундаги молекулалар сони 0,012 кг углероддаги атомлар сонига тенг:

моль моддадаги молекулалар сони Авогадро доимийси $N_A = 6 \times 10^{23} \frac{1}{\text{моль}}$ деб аталади. Жисмдаги модда миқдори ундаги молеку-

лалар сонининг Авогадро доимийсига нисбатига тенг: $\nu = \frac{N}{N_A}$.

5. Модданинг моляр массаси деб 1 моль модданинг массасига айтилади: $M = m_0 N_A$.

6. Газларда молекулалар орасидаги масофалар уларнинг ўлчамларидан анча ортик бўлади. Суюклик ва каттик жисмларда молекула (ёки атом)лар бир-бирининг бевосита яқинида бўлади. Каттик жисмларда атомар (ёки молекулалар) катъий тартиб билан жойлашиб, ўзгармас мувозанат вазиятлари атрофида тебраниб туради. Суюкликларда молекулалар бетартиб жойлашиб, вақти-вақти билан бир мувозанат вазиятидан бошқасига сакраб туради.

7. Молекуляр-кинетик назарияда идеал газ деб, бир-бирлари орасидаги ўзаро таъсир эътиборга олмайдиган даражада жуда кичик бўлган молекулалардан иборат газга айтилади.

Молекуляр-кинетик назариянинг асосий тенгламасига асосан, газнинг босими молекулалар концентрацияси билан молекула илгариланма ҳаракатининг ўртача кинетик энергияси кўпайтмасига пропор-

ционал: $p = \frac{2}{3} n \bar{E}$, бу ерда $\bar{E} = \frac{m_0 \bar{v}^2}{2}$.

Қандай бир муҳим нарсани тушириб қолдирибсиз? Ўйлаб кўринг, нимага шундай бўлибди? Сизлардан баъзиларингиз қисқача яқунларни китобдагидан яхшироқ ёзган бўлишингиз ҳам мумкин, албатта.

ҲАРОРАТ. МОЛЕКУЛАЛАР ИССИҚЛИК ҲАРАКАТИНИНГ ЭНЕРГИЯСИ

Бу бобда Сиз об-ҳаво тўғрисидаги ахборотда ҳар кунни тилга олинадиган физик катталиқ, яъни ҳарорат (температура) тўғрисидаги баъзи янгиликларни билиб оласиз, физикада у қандай изчиллик билан аниқланиши, унинг ҳақиқий физик маъноси билан танишасиз.

9- §. ҲАРОРАТ ВА ИССИҚЛИК МУВОЗАНАТИ

Термометрни ҳамма ишлатади. У нимани ўлчади? Ҳароратни, албатта! Лекин бу ҳали жавоб эмас. «Мен жисмнинг ҳарорати (температураси)ни ўладим» деган гапнинг маъноси нима? Бунда мен нимани билиб олдим? Ҳарорат (температура) аслида айнан нимани ифода қилади? Бу нарса биринчи қарашда кўринганича-лик соддагина эмас.

Микроскопик параметрлар. Газларда ва бошқа макроскопик жисмларда юз берадиган жараёнларни тавсифлаш учун ҳар сафар молекуляр-кинетик назарига асосланаверишга зарурат йўқ. Макроскопик жисмларнинг, жумладан газларнинг характерини жисмни ташкил этган айрим молекулаларга эмас, балки жами молекулаларга тегишли бўлган бир неча физик миқдор билан тавсифлаш мумкин. Бундай миқдорлар жумласига ҳажм V , босим p , ҳарорат t ва бошқалар киради.

Масалан, маълум бир массали газ ҳамиша бирор ҳажмни эгаллайди, тайинли босими ва ҳарорати бўлади. Ҳажм ва босим газ ҳолатини тавсифловчи механик миқдорлар ҳисобланади. Ҳарорат механикада ўрганилмайди, чунки у жисмнинг ички ҳолатини тавсифлайди.

Макроскопик жисмларнинг ҳолатини жисмларнинг молекуляр тузилишига эътибор қилмасдан тавсифлайдиган миқдорлар (V, p, t) макроскопик параметрлар деб аталади. Макроскопик параметрлар ҳажм, босим ва ҳароратгина бўлмай, улардан бошқа параметрлар ҳам мавжуддир. Масалан, газлар аралашмасидаги алоҳида компонента-ларнинг концентрацияларини ҳам билиш керак. Одатдаги атмосфера ҳавоси ана шундай аралашмадир.

Совуқ ва иссиқ жисмлар. Иссиқлик ҳодисалари тўғрисидаги бутун таълимотда *ҳарорат (температура)* тушунчаси марказий ўрин эгаллайди. Иссиқ ва совуқ жисмлар ўртасидаги фарқни биз яхши биламиз. Ушлаб кўриб қайси жисм иссиқроқ эканини аниқлай оламиз ва бу жисмнинг ҳарорати юқорирок дея оламиз.

Ҳарорат жисмнинг исиганлик даражасини (совук, илик, иссиқ) ифодалайди. Жисмнинг ҳароратини ўлчаш учун *термометр* деб аталган асбоб яратилган. Бу асбобнинг ясалишида жисмларнинг исиганда ёки совиганда ҳажмининг ўзгариши хоссасидан фойдаланилган.

Иссиқлик мувозанати. Киши танасининг ҳароратини ўлчаш учун медицина термометрини 5—8 мин қўлтиқда тутиб туриш керак. Бу вақт ичида термометрдаги симоб исиб, унинг сатҳи кўтарилади. Симоб устунининг узунлигига қараб ҳароратни аниқлаш мумкин. Ҳар қандай жисмнинг ҳароратини ҳар қандай термометр билан ўлчаганда ҳам худди шундай бўлади. Термометр ҳеч қачон танага (ёки жисмга) тегизилиши биланоқ тананинг ҳароратини кўрсата қолмайди. Тана билан термометр ҳарорати тенглашгунча ва улар ўртасида *иссиқлик мувозанати* қарор топгунча бирор вақт ўтади; иссиқлик мувозанатга келганда ҳарорат ўзгармайди.

Турли ҳароратли ҳар қандай жисмлар ўртасида ҳам вақт ўтиши билан иссиқлик мувозанати қарор топади. Стакан ичидаги сувга бир бўлак муз ташланг ва стаканни қопқоқ билан зич қилиб ёпиб қўйинг. Муз эрий бошлайди, сув совий бошлайди. Муз эриб бўлгач, сув исий бошлайди ва ҳарорати атрофдаги ҳавонинг ҳароратига тенглашгач, сувли стакан ичида ҳеч қандай ўзгариш бўлмайди.

Бу ва бунга ўхшаган оддийгина кузатишлардан иссиқлик ходисаларининг жуда муҳим умумий хоссаси борлиги тўғрисида хулоса чиқариш мумкин. *Ташқи шароитлар ўзгармас бўлганда ҳар қандай макроскопик жисм ёки бундай жисмлар группаси ўз-ўзидан иссиқлик мувозанати ҳолатига ўтади. Барча макроскопик параметрлар истаганча узок вақт давомида ўзгармай қолаверади*ган ҳолат иссиқлик мувозанати деб аталади. Бу эса системада *ҳажм ва босим ўзгармаётганини*, иссиқлик алмашилиши юз бермаётганини, газ, суюқлик ва қаттиқ жисмлар бир-бирига айланмаётганини ва бошқа жараёнлар юз бермаётганини билдиради. Жумладан, термометрдаги симоб устунининг ҳажми ўзгармай туради. Бу эса системанинг ўзгармай турганини билдиради.

Бироқ иссиқлик мувозанати ҳолатида ҳам жисм ичида юз берадиган микроскопик жараёнлар тўхтамайди. Тўкнашишда молекуларларнинг вазияти ва тезликлари ўзгаради.

Ҳарорат. Макроскопик жисмлар системаси турли хил иссиқлик мувозанати ҳолатида бўла олади. Бу ҳолатларнинг ҳар бирида ҳарорат тайинли бир қийматга эга бўлади. Иссиқлик мувозанати ҳолатида бошқа микдорлар ҳар хил (лекин ўзгармас) қийматларга эга бўлади, бу қийматлар вақт ўтиши билан ўзгармайди. Масалан, қаттиқ тўсиқлар бўлган системада турли қисмларнинг ҳажми ва бу қисмлар ичидаги босим турлича бўлиши мумкин. Агар ичига сиқилган ҳаво қамалган коптокни кўчадан уйга олиб кирсангиз, бир оз ўтгач, коптокдаги ва уйдаги ҳаво ҳарорати



тенглашади. Коптоқдаги хавонинг босими бари-бир уй ичидаги хаво босимидан ортик бўлади.

Ҳарорат макроскопик системанинг иссиқлик мувозанати ҳолатини ифодалайди: иссиқлик мувозанати ҳолатида бўлган системанинг ҳамма қисмларида ҳарорат аynи бир қийматга эга бўлади.

Икки жисмнинг ҳарорати бир хил бўлганда улар орасида иссиқлик алмашинмайди. Агар жисмларнинг ҳарорати ҳар хил бўлса, улар бир-бирига бевосита тегизилганда улар ўртасида энергия алмашинади. Бунда ҳарорати юқори бўлган жисм паст ҳароратли жисмга энергия беради. *Жисмларнинг ҳароратлари фарқи улар ўртасидаги иссиқлик алмашиниш йўналишини кўрсатади.*

Ҳароратни ўлчаш. Термометрлар. Ҳароратни ўлчаш учун ҳажм, босим, электр қаршилиқ ва шу каби ҳар қандай макроскопик миқдорнинг ҳароратга боғлиқ равишда ўзгаришидан фойдаланиш мумкин.

Кўпинча амалда суюқлик (симоб ёки спирт) ҳажмининг ҳарорат ўзгаришига боғланиш муносабатидан фойдаланилади. Термометрни даражалашда одатда санок боши (0) сифатида эриётган музнинг ҳарорати олинади; иккинчи доимий нукта (100) сифатида нормал атмосфера босими шароитидаги сувнинг қайнаш ҳарорати олинади (Цельсий шкаласи). 0 ва 100 нукталари орасидаги шкала тенг 100 бўлакка бўлинади, бу бўлимларнинг ҳар бири градус деб аталади (18-расм). Суюқлик устунининг бир бўлимга силжиши ҳароратнинг 1°C ўзгарганига мос келади.

Ҳар хил суюқликлар иситилганда турлича кенгайди, шунинг учун бу тарика аниқланган шкала суюқликнинг хоссаларига бирмунча боғлиқ бўлади. 0 билан 100°C нукталар ҳамма термометрларда бир-бирига мос келади, бироқ 50°C нукталар мос келмайди.

Бу боғлиқликдан қутилиш учун термометрга қандай модда қуйиш керак? Суюқликлардан фарқли ўлароқ ҳамма сийрак газлар, масалан водород, гелий, кислород *иситилганда бир хил кенгайар ва ҳарорат ўзгарганда ўзининг босимини бир хил ўзгартирар экан.* Шунинг учун физикада ҳароратнинг рационал шкаласини аниқлашда маълум миқдор сийрак газнинг ҳажми ўзгармас бўлган шароитда босими ўзгаришидан ёки босими ўзгармас бўлган шароитда ҳажми ўзгаришидан фойдаланилади. Бу шкала баъзан *ҳароратларнинг идеал газ шкаласи* деб аталади. Бу шкалани аниқлашда Цельсий шкаласининг санок бошини (яъни ноль ҳароратни) ихтиёрый равишда танлашдек яна бир муҳим камчилиги бартараф қилинади. Санок боши қилиб музнинг эриш

харорати ўрнига сувнинг қайнаш хароратини олиш бир хил натижа берар эдику, ахир.

Ҳозир биз хароратни аниқлашда сийрак газлардан қандай қилиб фойдаланишни батафсил кўриб чиқамиз.

Термометрнинг тузилиши ва қандай ишлаши туғрисидаги ҳикояни сиз биринчи марта эшитаётганингиз йўқ. Аммо бир янгилик ҳам чиқиб қолди, Сиз иссиқлик мувозанати ҳодисаси билан танишдингиз (гарчи бу ҳодиса билан сиз кўп марта иш кўрган бўлсангиз ҳам). Ҳарорат иссиқлик мувозанатининг бир ҳолатини бошқасидан фарқ қилишга имкөн беради. Бу ҳол жуда яққол намоён бўлмайди, лекин у физика учун муҳимдир. Ҳарорат туғрисидаги гап ҳали-бери тугамайди.

1. Макроскопик жисмларнинг ҳолатини қандай миқдорлар тавсифлайди?
2. Иссиқлик мувозанати ҳолатининг қандай аломатлари бор?
3. Кундалик ҳаётда сизнинг атрофингиздаги жисмларда иссиқлик мувозанати қарор топишига мисоллар келтиринг.
4. Ҳароратни ўлчашда сийрак газлардан фойдаланишнинг қандай афзал томонлари бор?

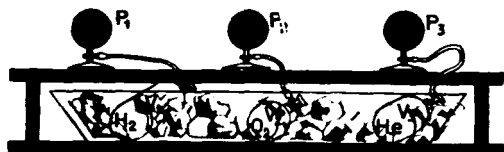
10-§. ҲАРОРАТНИ АНИҚЛАШ

Иссиқлик мувозанати ҳолатида ҳамма газларнинг илгариланма ҳаракатининг ўртача кинетик энергияси бир хил бўлади. Бунга сиз тез орада ишонч ҳосил қиласиз. Ҳароратни жоуль ҳисобида ифодалаймиз. Бу параграфда ҳеч қандай сонларни ёд олиш шарт эмас.

Иссиқлик мувозанати ҳолатида турган газ молекулаларининг ўртача кинетик энергияси. Иссиқлик мувозанати ҳолатида ҳамма газларнинг харорати бир хил бўлади, бу харорат газнинг турига боғлиқ эмас. Ҳароратни аниқлаш учун молекуляр-кинетик назарияда қандай физик катталиқ хароратнинг мана шу хоссасига эга эканлигини аниқлаймиз.

Молекулалар қанчалик тез ҳаракат қилса, жисмнинг харорати шунчалик юқори бўлишини сиз VII синф физикасидан биласиз. Газ ёпиқ идишда иситилганда газнинг босими ортади. Молекуляр-кинетик назариянинг асосий (1.15) тенгламасига асосан эса p босим молекулалар илгариланма ҳаракатининг ўртача кинетик энергиясига тўғри пропорционалдир: $p = \frac{2}{3}n\bar{E}$. Маълум бир массали газнинг босими ва ҳажми тайин бир қийматга эга бўлган иссиқлик мувозанати ҳолатида газ молекулаларининг ўртача кинетик энергияси хароратга ўхшаб тайинли бир қийматга эга бўлиши керак.

Иссиқлик мувозанати ҳолатида ҳамма газлар молекулаларининг айна ўша ўртача кинетик энергияси бир хил бўлади, деб фараз қилиш мумкин. Албатта, бу фикр ҳали фақат фараз. Уни тажрибада текшириб кўриш керак. Уни бевосита текшириб кўриш



19-расм

деярли мумкин эмас, чунки молекулаларнинг ўртача кинетик энергиясини ўлчаш жуда қийин. Бирок молекуляр-кинетик назариянинг асосий тенгламаси ёрдамида ўртача кинетик энергияни макроскопик параметрлар орқали ифодалаш мумкин.

Газ молекулаларининг концентрацияси $n = \frac{N}{V}$ бўлгани учун (1.19) тенгламадан $p = \frac{2}{3} \frac{N}{V} \cdot \bar{E}$ келиб чиқади, бундан

$$p \frac{V}{N} = \frac{2}{3} \bar{E}. \quad (2.1)$$

Босим билан ҳажм бевосита ўлчаб топилади. Молекулалар сонини газнинг массаси m ни, Авогадро донийси N_A ни ва моляр массаси M ни билган ҳолда аниқлаш мумкин. (1.8) формулага кўра

$$N = \frac{m}{M} N_A.$$

Агар иссиқлик мувозанати ҳолатида кинетик энергия \bar{E} ҳақиқатан ҳам ҳамма газлар учун бир хил бўлса, у ҳолда $p \frac{V}{N}$ миқдор ҳамма газлар учун бир хил бўлиши керак. Бу тахминни фақат тажриба тасдиқлаши ёки рад қилиши мумкин.

Иссиқлик мувозанати ҳолатидаги газлар. Тажриба бундай қилинади. Турли хил газлар, масалан, водород, гелий ва кислород билан тўлдирилган бир неча идиш оламыз. Идишларнинг ҳажми маълум бўлиб, уларга манометр ўрнатилган. Манометрлар ҳар бир идишдаги босимни ўлчайди. Газларнинг массаси маълум, демак, ҳар бир идиш ичидаги газнинг молекулалари сони маълум.

Газларни иссиқлик мувозанати ҳолатига келтирамыз. Бунинг учун газ солинган идишларни эриётган музга қўйиб иссиқлик мувозанати ҳолати қарор топмагунча ва газларнинг босими ўзгармайдиган бўлгунча кутиб турамыз (19-расм). Бундан кейингина ҳамма газларнинг ҳарорати бир хил 0°C бўлди, дея оламыз. Газларнинг босимлари p , ҳажмлари V ва молекулаларининг сони N турлича. $\frac{pV}{N}$ нисбатни водород учун ҳисоблаб топамиз. Масалан, агар 1 моль водород $V_{\text{H}_2} = 0,1 \text{ м}^3$ ҳажминини эгалласа, у ҳолда 0°C ҳароратда унинг босими $p_{\text{H}_2} = 2,265 \cdot 10^4 \text{ Па}$ бўлар экан. Шунинг учун

$$\frac{p_{\text{H}_2} V_{\text{H}_2}}{N_{\text{H}_2}} = \frac{2,265 \cdot 10^4 \cdot 0,1 \text{ Н} \cdot \text{м}^3}{6,02 \cdot 10^{23} \text{ м}^2} = 3,76 \cdot 10^{-21} \text{ Ж}. \quad (2.2)$$

Газ босими билан ҳажми кўпайтмасининг молекуларлар сонига нисбати музнинг эриш ҳароратида ҳамма газлар учун ҳам мана шундай қийматга эга бўлади. Бу нисбатни θ_0 билан белгилаймиз. У ҳолда

$$\frac{p_{H_2} V_{H_2}}{N_{H_2}} = \frac{p_{He} V_{He}}{N_{He}} = \frac{p_{O_2} V_{O_2}}{N_{O_2}} = \theta_0 \quad (2.3)$$

Шундай қилиб, бизнинг тахминимиз тўғри чикди.

Тўғрисиини айтганда, (2.3) нисбатни мутлақо тўғри деб бўлмайди. Ҳамма газлар жуда зич бўладиган бир неча юз атмосферага тенг босимли шароитда $\frac{pV}{N}$ нисбат газлар эгаллаб турган ҳажмларга боғлиқ бўлмайдиган тайинли бир қийматга эга бўлмай қолади. Бу нисбат идеал газ деб ҳисоблаш мумкин бўлган анча сийрак газлар учунгина тайинли қийматга эга бўлади.

Агар ичида гази бор идишларнинг ҳаммаси нормал атмосфера босими шароитида қайнаётган сувга солинса, у ҳолда $\frac{pV}{N} = \theta_{100}$ нисбат аввалгидек ҳамма газлар учун айни бир қийматга, бироқ каттароқ қийматга эга бўлади. Тажрибанинг кўрсатишича,

$$\frac{pV}{N} = \theta_{100} = 5,14 \cdot 10^{-21} \text{ Ж}. \quad (2.4)$$

Ҳароратни аниқлаш. Шунга қараб биз ҳарорат кўтариладиганда θ миқдор ортади, дея оламиз. Бунинг устига, θ миқдор ҳароратдан бошқа ҳеч нарсага боғлиқ эмас. Ахир, сийрак газлар учун θ миқдор на газнинг турига, на ҳажми ва босимига, на идишдаги зарралар сонига, на идишнинг ўзининг шаклига боғлиқ эмас. Тажрибадан топилган бу маълумот бизга θ миқдорни ҳароратнинг газнинг бошқа макроскопик параметрлар орқали аниқланадиган табиий ўлчови деб ҳисоблашга имкон беради. Умуман, θ миқдорнинг ўзини ҳарорат деб ҳисоблаш ва ҳароратни жоуль билан ифодаланадиган энергетик бирликларда ўлчаш мумкин эди. Бироқ, биринчидан, булар амалда ишлатишга ноқулай бўлган бирликлар. 100°C ҳароратга 10^{-21} Ж тартибдаги жуда кичик миқдор мос келган бўлар эди. Иккинчидан, ҳарорат кўп вақтдан бери *градусларда ифодаланади*.

Биз ҳароратнинг бу ерда ишлатиладиган газларнинг хоссаларига боғлиқ бўлмайдиган қийматларини аниқлаш усулини топдик. Ҳозирча биз ҳароратни энергетик бирликларда ифодаладик.

- ! 1. Нимага асосланиб ҳарорат билан молекуларлар кинетик энергияси орасида боғланиш бор дея олдик? 2. Иссиқлик мувозанати ҳолатида турли газларнинг ҳажми, босими ва молекуларларининг сони бир-бирига қандай боғлиқ?

**11-§. АБСОЛЮТ ҲАРОРАТ. ҲАРОРАТ — МОЛЕКУЛАЛАР
УРТАЧА КИНЕТИК ЭНЕРГИЯСИНИНГ УЛЧОВИ.**

Дунёдаги ҳамма нарса ҳам нисбий булавермайди. Масалан, ҳароратнинг абсолют ноли мавжуд. Шунингдек ҳароратларнинг абсолют шкаласи ҳам мавжуд. Ҳозир Сиз бунини билиб оласиз, Сиз ҳарорат билан молекулаларнинг ўртача кинетик энергияси ўртасидаги аниқ муносабатни ҳам билиб оласиз. Бироқ даставвал осон бўлмаган психологик тўсиқни ўтишга ўрганиб олиш керак. Сиз километрни метрга, соатни секундга ва шу каби ўтказишларга ўрганиб қолгансиз. Бу ерда эса жоуль ҳисобида ифодаланган энергия ҳарорат градусларига айлантирилади.

Энергетик бирликларда ўлчанадиган θ ҳарорат ўрнига ўзимиз одатланиб қолган градус ҳисобида ўлчанадиган ҳароратни ишлатамиз.

θ микдорни градусларда ўлчанадиган ҳароратга тўғри пропорционал деб ҳисоблаймиз:

$$\theta = k T, \quad (2.5)$$

бу ерда k — пропорционаллик коэффиценти, (2.5) тенглик билан таърифланган ҳарорат абсолют ҳарорат (температура) деб аталади. Бундай номланишнинг етарлича асосга эга эканлигини биз ҳозир кўрамиз.

(2.5) таърифни ҳисобга олсак, қуйидаги тенглик ҳосил бўлади:

$$\frac{pV}{N} = kT. \quad (2.6)$$

Бу формула асосида ҳарорат шкаласи (градусларда) белгиланади, бу шкала ҳароратни ўлчаш учун фойдаланиладиган моддага боғлиқ бўлмайди.

Ҳароратнинг абсолют ноли. (2.6) формуладан аниқланадиган ҳарорат манфий бўлолмайди, чунки (2.6) тенгликнинг чап томонида турган ҳамма микдорлар мусбат сонлардир. Бинобарин, ҳарорат T нинг босим p ёки ҳажм V нолга тенг бўлган ҳолда бўлиши мумкин бўлган энг кичик қиймати $T = 0$ қийматдир. Идеал газнинг ҳажми ўзгармас бўлганда босими нолга интиладиган ҳолдаги ёки идеал газ босими ўзгармас бўлганда ҳажми нолга интиладиган ҳолдаги чегаравий ҳарорат ҳароратнинг абсолют ноли деб аталади. Бу ҳарорат табиатда борлигини Ломоносов башорат қилиб айтган энг паст ҳароратдир, яъни «совуқнинг энг катта ёки охириги даражаси» дир.

Ҳароратларнинг абсолют шкаласи. Инглиз олими У. Кельвин (1824—1907) ҳароратларнинг абсолют шкаласини жорий этган. *Абсолют шкаладаги (баъзан бу шкала Кельвин шкаласи деб аталади) ноль ҳарорат абсолют нолга мос келади, бу шкалада ҳароратнинг ҳар бир бирлиги Цельсий шкаласининг градусига тенг.*

Больцман Людвиг (1844—1906) — молекуляр-кинетик назариянинг асосчиларидан бири бўлган улуғ австриялик физик. Молекуляр-кинетик назария биринчи бўлиб Больцман асарларида мантикий тўғри, изчил физик назария шаклида баён этилган. Больцман Максвеллнинг электромагнит майдон назариясини ривожлантириш ва оммалаштириш соҳасида кўп ишлар қилди. Табиатан курашчи бўлгани ҳолда у иссиқлик ҳодисаларини молекуляр нуқтан назардан талқин этиш зарурлигини қатъий ҳимоя қилди ва молекулалар борлигини инкор этувчи олимлар билан бўлган курашнинг асосий қийинчилигини ўзига олди.



Абсолют ҳароратнинг бирлиги СИ да *кельвин* деб аталади (К ҳарфи билан белгиланади) —

Больцман доимийси. (2.6) формуладаги k коэффициентни бир кельвин Цельсий шкаласидаги бир градус (1°C) га тенг бўладиган қилиб аниқлаймиз.

Биз θ нинг 0°C ва 100°C даги қийматларини биламиз (2.2 ва 2.4 формулалар). 0°C даги абсолют ҳароратни T_1 билан, 100°C даги абсолют ҳароратни T_2 билан белгилаймиз. У ҳолда (2.5) га асосан

$$\theta_{100} - \theta_0 = k(T_2 - T_1)$$

ёки

$$\theta_{100} - \theta_0 = k \cdot 100\text{K} = (5,14 - 3,76) \cdot 10^{-21} \text{Ж}.$$

Шунинг учун

$$k = \frac{5,14 - 3,76}{100} \cdot 10^{-21} \frac{\text{Ж}}{\text{К}} = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Ж}}{\text{К}}.$$

Бу ердаги

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Ж}}{\text{К}} \quad (2.7)$$

коэффициент газларнинг молекуляр-кинетик назарияси асосчиларидан бири бўлмиш австриялик улуғ физик Л. Больцман шарафига *Больцман доимийси* деб аталади.

Больцман доимийси энергетик бирликларда ифодаланган θ ҳароратни кельвин ҳисобида ифодаланган T ҳарорат билан боғлайди. Бу доимий молекуляр-кинетик назариянинг энг муҳим доимийларидан биридир.

Абсолют шкала билан Цельсий шкаласи ўртасидаги муносабат. Больцман доимийсини билган ҳолда абсолют юлнинг Цельсий шка-

ласидаги қийматини топиш мумкин. Бунинг учун даставвал абсолют ҳароратнинг 0°C га мос келадиган қийматини топамиз: 0°C да $kT_1 = = 3,76 \cdot 10^{-21}$ Ж бўлгани туфайли

$$T_1 = \frac{3,76 \cdot 10^{-21}}{1,38 \cdot 10^{-23}} \text{ К} \approx 273 \text{ К}.$$

Бир кельвин билан Цельсий шкаласининг бир градуси бир хил. Шунинг учун абсолют ҳарорат T нинг ҳар қандай қиймати Цельсий шкаласидаги мос ҳарорат t дан 273 градус юқори бўлади:

$$T = t + 273. \quad (2.8)$$

Бироқ абсолют ҳароратнинг ўзгариши ΔT ҳароратнинг Цельсий шкаласи бўйича ўзгариши Δt га тенг: $\Delta T = \Delta t$.

20-расмда абсолют шкала билан Цельсий шкаласи бир-бирига солиштириш учун кўрсатилган. Абсолют нолга $t = -273^{\circ}\text{C}$ ҳарорат тўғри келади¹.

Ҳарорат — молекулалар ўртача кинетик энергиясининг ўлчови. Молекуляр-кинетик назариянинг (2.1) кўринишдаги асосий тенгламасидан ва ҳароратнинг (2.6) таърифидан муҳим хулоса келиб чиқади: **абсолют ҳарорат молекулалар ҳаракатининг ўртача кинетик энергиясининг ўлчовидир.** Буни исбот қиламиз.

$$\frac{pV}{N} = \frac{2}{3} \bar{E} \quad \text{ва} \quad \frac{pV}{N} = kT \quad \text{тенгламаларнинг чап томонлари ҳам}$$

тенг бўлиши керак. Бундан молекулалар қиладиган илгаринма ҳаракатнинг ўртача кинетик энергияси билан ҳарорат ўртасидаги боғланиш келиб чиқади:

$$\boxed{\bar{E} = \frac{3}{2} kT.} \quad (2.9)$$

Газ молекулалари қиладиган хаотик илгариланма ҳаракатнинг ўртача кинетик энергияси абсолют ҳароратга тўғри пропорционал. Ҳарорат қанча юқори бўлса, молекулалар шунча тез ҳаракат қилади шундай қилиб, ҳарорат билан молекулаларнинг ўртача тезлиги орасидаги муносабат тўғрисида олдин айтилган тахмин ишончли равишда асосланди.

Ҳарорат билан молекулалар қиладиган илгариланма ҳаракатнинг ўртача кинетик энергияси ўртасидаги (2.9) муносабат сийрак газлар учун аниқланган. Бироқ бу формула атом ёки молекулалар ҳаракати Ньютон механикасининг қонунларига бўйсунадиган ҳар қандай моддалар учун ҳам тўғри бўлаверар экан. Бу формула атомлари кристалл панжаранинг тугунларидаги мувозанат вазият-

¹ Абсолют нолнинг аниқроқ қиймати: $-273,15^{\circ}\text{C}$.

лари атрофида фақат тебраниб тура оладиган суюқлик ва қаттиқ жисмлар учун ҳам тўғри бўлади.

Ҳарорат абсолют нолга яқинлашганда молекулаларнинг иссиқлик ҳаракати энергияси ҳам нолга яқинлашади.

Газ босимининг молекулалар концентрациясига ва ҳароратга боғлиқ бўлиши. $\frac{N}{V} = n$ эканлигини ҳисобга олсак, (2.6) формуладан газ босими билан молекулалар концентрацияси ва ҳарорат ўртасидаги боғланишни кўрсатувчи ифода келиб чиқади:

$$p = nkT. \quad (2.10)$$

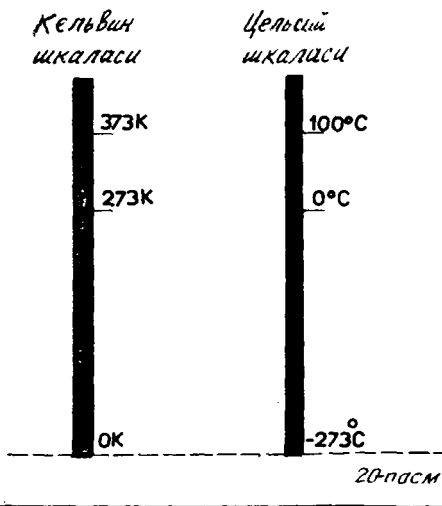
(2.10) формуладан бир хил босим ва бир хил ҳарорат шароитида ҳамма газларнинг молекулалари концентрацияси бир хил бўлади, деган хулоса келиб чиқади.

Бундан эса сизга IX синф химиясидан маълум бўлган Авогадро қонуни келиб чиқади: бир хил ҳарорат ва бир хил босимдаги газларнинг тенг ҳажмларида молекулалар сони бир хил бўлади.

Шундай энг паст ҳарорат мавжудки, бу ҳароратда идеал газнинг босими ёки ҳажми нолга айланади. Бу ҳарорат абсолют ноль ҳароратдир: -273°C . Ҳароратни абсолют нолдан бошлаб ҳисоблаш қулай. Ҳароратларнинг абсолют шкаласи шундай тузилади.

Молекулалар илгариланма ҳаракатининг ўртача кинетик энергияси абсолют ҳароратга тўғри пропорционалдир. Больцман доимийси $k \approx 10^{-23}$ Ж/К ни эслаб қолиш керак.

- ! 1. Абсолют ноль ҳарорат Цельсий шкаласида нимага тенг? 2. Ҳароратларнинг абсолют шкаласидан қандай афзал томонлари бор? 3. Больцман доимийсининг физик маъноси қандай? Уни тажриба қилиб кўрмасдан назарий йўл билан аниқлаш мумкинми? 4. Молекулалар илгариланма ҳаракатининг ўртача кинетик энергияси ҳароратга қандай боғлиқ? 5. Бир хил босим ва бир хил ҳароратда ҳамма газларнинг молекулалари концентрацияси нима учун бир хил бўлади? 6. Абсолют ноль ҳароратнинг физик маъноси қандай?



12- §. ГАЗ МОЛЕКУЛАЛАРИНИНГ ТЕЗЛИКЛАРИНИ УЛЧАШ

Хароратни билган ҳолда молекулаларнинг ўртача кинетик энергиясини ҳисоблаб чиқариш қийин эмас. Бундан молекуланинг ўртача тезлигини ҳам ҳисоблаб чиқариш осон. Бу тезликни ўлчаб бўлармикан? Ахир молекулалар жуда кичик-ку!

Молекулалар иссиқлик ҳаракатининг ўртача тезлиги. (2.9) тенглама молекулалар ҳаракати тезлигининг ўртача квадратини топишга имкон беради. Бу тенгламада \bar{E} ўрнига $\bar{E} = \frac{m_0 v^2}{2}$ ни қўйиб, тезликининг ўртача квадратини топамиз:

$$\bar{v}^2 = 3 \frac{kT}{m_0}. \quad (2.11)$$

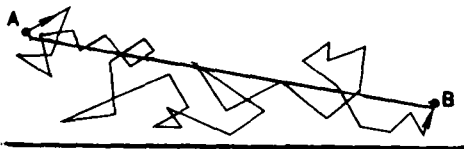
Бу миқдорнинг квадрат илдизи *ўртача квадратик тезлик* деб аталади:

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}. \quad (2.12)$$

(2.12) формуладан молекулалар тезлигини, масалан, азот молекулаларининг тезлигини ҳисобласак, $t = 0^\circ\text{C}$ да $\bar{v} \approx 500$ м/с бўлиб чиқади. Ўша ҳароратда водород молекулаларининг ўртача тезлиги $v \approx 1800$ м/с бўлади.

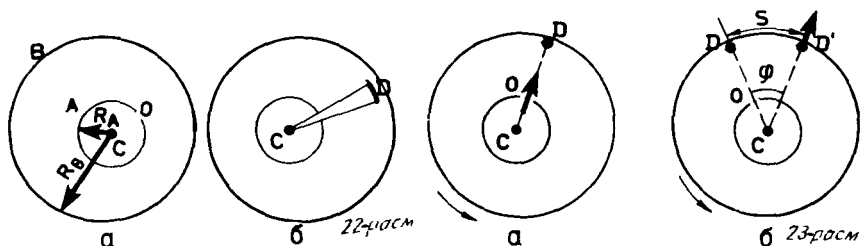
Бу сонлар биринчи марта топилганда (XIX асрнинг иккинчи ярмида) кўп физиклар жуда ҳайратда қолишган. Ҳисоблаб кўрилганда газ молекулаларининг тезлиги артиллерия снарядларининг тезлигидан катта бўлиб чиққан! Шу сабабли кинетик назариянинг тўғрилигига шубҳа ҳам туғилган. Ахир ҳид анча секин тарқалади, буни ҳамма яхши билади. Хонанинг бир бурчагида тўкилган атирнинг хиди хонанинг бошқа бурчагига етиб боргунча бир неча ўн секунд вақт ўтади¹. Бунинг сабабини тушунтириш қийин эмас. Молекулалар бир-бирига тўқнашишлари туфайли ҳар бир молекуланинг траекторияси жуда чалкаш синик чизикдан иборат бўлади (21-расм). Синик чизикнинг тўғри чизикли кесмаларида молекуланинг тезлиги катта бўлади. Молекуланинг бирор йўналишда ҳатто бир неча минут чамасидаги вақт ичидаги кўчиши эса ўрта ҳисобда унча катта бўлмайди. Молекула А нуктадан В нуктага кўчганда босиб ўтган йўли АВ масофадан анча катта бўлади.

Молекулалар тезлигини тажрибада аниқлаш. Молекулалар тезлигини аниқлаш тажрибалари (2.12) формуланинг тўғри



21-расм

¹ Конвекция ҳодисаси ҳисобига бу вақт 1 с гача қамайиши мумкин.



эканлигини исботлади. Шундай тажрибалардан бирини 1920 йилда Штерн таклиф қилган.

Штерн ишлатган асбоб бир-бирига маҳкам бириктирилган иккита A ва B коаксиал цилиндрдан иборат (22, а-расм). Цилиндрлар ўзгармас бурчак тезлик билан айлана олади. Кичик цилиндрнинг ўқи бўйлаб устига қумуш юритилган ингичка C платина сим тортилган. Бу симдан электр токи ўтказилади. Кичик цилиндр деворида торгина O тирқиш бор. Цилиндрлар ичидаги ҳаво сўриб олинган. B цилиндрнинг ҳарорати уй ҳароратига тенг.

Бошда асбоб қимирламай туради. Симдан ток ўтаётганда қумуш қатлами буғланиб, ички цилиндр қумуш атомларидан иборат бўлган газ билан тўлади. Баъзи атомлар O тирқишдан ўтиб, B цилиндрнинг ички юзига етиб боради ва унга ўтириб қолади. Натижада тирқишнинг рўпарасида энсизгина D қумуш қатлам ҳосил бўлади (22, б-расм).

Шундан сўнг цилиндрлар секундига жуда катта $\left(1500 \frac{1}{c} \text{ гача} \right)$ тезлик билан айлантирилади. Энди атом цилиндрлар радиусларининг R_A — айирмасига тенг йўлни босиб ўтгунча ўтган t вақт ичида цилиндрлар бирор φ учбурчакка бурилади. Натижада ўзгармас тезлик билан ҳаракат қилаётган атомлар катта цилиндрларнинг ички юзига O тирқиш қаршисида эмас (23, а-расм), балки тирқиш ўртасидан ўтадиган радиуснинг учидан бирор s масофада турадиган жойга бориб тушади (23, б-расм). Чунки атомлар тўғри чизиқ бўйлаб ҳаракат қилади-да.

Агар ташқи цилиндр юзидаги нуқталарнинг айланиш тезлиги модулини v_B билан белгиласак, s масофа қуйидагига тенг бўлади:

$$s = v_B t = 2\pi n \cdot R_B t. \quad (2.13)$$

Аслида қумуш атомларининг ҳаммасининг тезлиги айнан бир хил эмас. Шу туфайли s масофа ҳар хил атомлар учун бирмунча фарқ қилади. s деганда қумуш қатламларнинг атомлар қалин жойлашган жойлари D ва D' орасидаги масофани тушуниш керак. Уша s масофага тушган қумуш атомларининг тезлиги ўртача тезликка мос келиб, у қуйидагига тенг:

$$\bar{v} = \frac{R_B - R_A}{t}.$$

Бу формулага t нинг (2.13) дан топиладиган қийматини қўйиб, ўртача тезлик \bar{v} ни топамиз:

$$\bar{v} = \frac{2\pi n R_B (R_B - R_A)}{s} R_B$$

n , R_A ва R_B ни билган ҳолда, асбобнинг айланиши туфайли кумуш қатламининг ўртача силжиши S ни ўлчаб, кумуш атомларининг ўртача тезлигини топамиз.

Тезликларнинг тажрибадан топилган модуллари ўртача квадратик тезликнинг назарий равишда ҳисоблаб чиқарилган қийматига тўғри келади. Бу эса (2.12) формуланинг, бинобарин, молекуланинг ўртача кинетик энергияси абсолют ҳароратга тўғри пропорционал эканлигини билдирадиган (2.9) формуланинг ҳам тўғри эканлигининг экспериментал исботидир.

Молекулаларнинг ўртача тезликлари товуш тезлигидан катта бўлиб секундига бир неча юз метрга етади. Бу тажрибадаги макроскопик жисмларга (Штерн тажрибасидаги цилиндрларга) шунчалик катта тезлик бериш мумкинлиги ва шу туфайли молекулалар цилиндрлар орасидаги масофани босиб ўтгунча цилиндрлар сезиларли микдорга бурилиб улгурган учун бу тезликларни ўлчай олдик.

- ?
1. Штерн тажрибасида айланаётган катта цилиндрнинг ички юзига ўтирган кумуш қатламининг қалинлиги қатламнинг эни бўйлаб бир хил эмаслигининг сабаби нимада?
 2. Ҳарорат 4 марта ортганда молекула ҳаракатининг ўртача квадратик тезлиги қандай ўзгаради?
 3. Атмосферадаги азот молекуласи тез ҳаракатланадими ёки кислород молекуласи тез ҳаракатланадими?

МАСАЛА ЕЧИШ НАМУНАЛАРИ

Бу бобга доир масалаларни ечганда абсолют ҳарорат таърифининг (2.6) формуласи, хаотик ҳаракатнинг ўртача кинетик энергиясини ҳароратга боғлайдиган (2.9) формула ва молекулаларнинг ўртача квадратик тезлигини ифодаловчи (2.12) формула ишлатилади. Баъзи масалаларни (2.10) формуладан фойдаланиб ечиш кулай.

Бундан ташқари, Больцман доимийсининг қиймати (2.7)ни билиш керак.

1. $t = 300^\circ\text{C}$ ҳароратда газ босимининг ҳажмига кўпайтмасининг молекулалар сонига нисбати нимага тенг?

Ечилиши. (2.6) формулага асосан, $\frac{pV}{N} = kT$, бу ерда $k = 1,38 \times 10^{-23}$ Ж/К — Больцман доимийси. Абсолют ҳарорат $T = t + 273 = 573$ К бўлгани учун

$$\frac{pV}{N} = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Ж/К} \cdot 573 \text{ К} = 7,9 \cdot 10^{-21} \text{ Ж.}$$

2. Газ молекуласининг 0°C даги ўртача квадратик тезлигини аниқланг. Газнинг моляр массаси $M=0,019$ кг/моль.

Ечиллиши. Молекулаларнинг ўртача квадратик тезлиги (2.12) формуладан топилади. $m_0 = \frac{M}{N_A}$ ва $T = 273$ К эканлигини ҳисобга олиб, \bar{v} ни топамиз:

$$\begin{aligned}\bar{v} &= \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3kN_A T}{M}} = \\ &= \sqrt{\frac{3 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 273}{0,019}} \text{ м/с} \approx 600 \text{ м/с}.\end{aligned}$$

3. Маълум миқдор водороднинг ҳарорати $T_1 = 200$ К ва босими $p_1 = 400$ Па. Бу газ $T_2 = 10\,000$ К ҳароратга қыздирилади, бунда водород молекулалари бутунлай атомларга ажралиб кетади. Агар газнинг ҳажми ва массаси ўзгармай қолган бўлса, босимнинг янги p_2 қиймати нимага тенг бўлади?

Ечиллиши. (2.10) формулага асосан, T_1 ҳароратда газнинг босими $p_1 = n_1 k T_1$, бу ерда n_1 — водород молекулаларининг концентрацияси.

Водород молекулалари атомларга ажралганда идишдаги зарралар сони икки марта кўпаяди. Бинобарин, водород атомларининг концентрацияси $n_2 = 2n_1$ бўлади. Атом ҳолидаги водороднинг босими $p_2 = n_2 k T_2 = 2n_1 k T_2$.

Иккинчи тенгламани биринчи тенгламага ҳадма-ҳад бўлсак,

$$p_2 = p_1 \frac{2T_2}{T} = 400 \text{ Па}.$$

2-МАСҲ

1. Агар СИ да ҳароратнинг бирлиги кельвин 1°C эмас, балки 2°C бўлганда Больцман доимийсининг қиймати нимага тенг бўлар эди?

2. Агар аргон газининг ҳарорати 17°C бўлса, аргон атомининг ўртача кинетик энергияси нимага тенг бўлади?

3. Замоновий вакуум насослари босимни $1,3 \cdot 10^{-10}$ Па (10^{-12} мм сим. уст.)гача пасайтиришга имкон беради. Мана шу босим ва 27°C ҳароратда 1 см^3 газда қанча молекула бўлади?

4. Нормал атмосфера босими ва 20°C ҳароратли 50 м^3 ҳажмли хонада молекула кўпми ёки стакандаги 200 см^3 сувда кўпми?

5 100°C ҳароратда турган газ молекуласининг ўртача квадратик тезлиги 540 м/с . Молекуланинг массасини аниқланг.

6. Киши танасининг ҳарорати 37 дан 40°C га кўтарилганда қон таркибидаги сув молекулаларининг ўртача квадратик тезлиги неча процент ортади?

¹ Қийинроқ масалалар олдига юлдузча қўйилган.

II БОБНИНГ ҚИСҚАЧА ЯҚУНЛАРИ

I бобнинг яқунларидаги каби 6—8 та асосий бандни, 3—4 формулани ажратинг ва II бобнинг яқунларини ўзингиз мустақил ёзиб, сўнгра уларни дарсликда берилганлар билан солиштиринг.

1. Микроскопик жисмларнинг ички ҳолати макроскопик параметрлар деб аталадиган микдорлар билан аниқланади. Булар жумласига босим, ҳажм ва ҳарорат киради. Ҳарорат молекулалар қиладиган иссиқлик ҳаракати жадаллигининг ўлчови бўлиб, макроскопик жисмлар системасининг иссиқлик мувозанати ҳолатини тавсифлайди.

2. Ҳарорат термометр билан ўлчанади. Ҳар қандай термометрда бирор макроскопик параметрнинг ҳарорат ўзгаришига қараб ўзгаришидан фойдаланилади.

3. Суюқлик ва қаттиқ жисмлардан фарқ қилган ҳолда ҳамма сийрак газлар ўзгармас босим шароитида иситилганда ҳажмини бир хил ўзгартиради ёки ўзгармас ҳажм шароитида иситилганда босимини бир хил ўзгартиради. Шу сабабли ҳароратлар шкаласини тузишда сийрак газлар ишлатилади (ҳароратларнинг газ шкаласи).

4. Тажрибанинг кўрсатишича, газларнинг иссиқлик мувозанати ҳолатида $\frac{pV}{N}$ нисбат ҳамма газлар учун бир хил бўлиб, фақат ҳароратга боғлиқ. Шунинг учун бу нисбат абсолют T ҳароратни $\frac{pV}{N} = kT$ формуладан топишда ишлатилиши мумкин, бу формулада $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Ж/К — Больцман доимийси. Абсолют ҳарорат $T = t + 273$, бу ерда t — Цельсий шкаласидаги ҳарорат. Энг паст ҳароратга абсолют шкаланинг ноли тўғри келади. СИ да ҳарорат кельвин ҳисобида ўлчанади.

5. Молекулалар ҳаракатининг ўртача кинетик энергияси абсолют ҳароратга тўғри пропорционал, яъни $\bar{E} = \frac{3}{2} kT$.

6. Молекулаларнинг ўртача квадратик тезлиги $\bar{v} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}$ формуладан ҳисоблаб топилади ва 0°C ҳароратда секундига бир неча юз метрга боради.

III б о б

ИДЕАЛ ГАЗ ҲОЛАТИНИНГ ТЕНГЛАМАСИ. ГАЗ ҚОНУНЛАРИ

Бу бобда сиз газлар тўғрисида асосан янги маълумот учратмайсиз. Бу ерда сўз ҳарорат тушунчаси ва бошқа макроскопик параметрлардан келиб чиқадиган натижалар устида боради. Молекуляр-кинетик назариянинг асосий тенгламаси бизни бу параметрлар орасидаги боғланишларни аниқлашга яқинлаштирди.

13-§. ИДЕАЛ ГАЗ ҲОЛАТИНИНГ ТЕНГЛАМАСИ

Маълум массали газнинг ҳолати босим p , ҳажм V ва ҳарорат T каби учта макроскопик параметр билан ифода қилинади. Ҳозир биз улар орасидаги боғланишни топамиз, кейин эса бу боғланишнинг нимага керак эканлигини кўрамиз.

Ҳолат тенгламаси. Биз идеал газнинг характерини молекуляр-кинетик назария нуқтаи назаридан муфассал кўриб чиқдик. Газ босимининг молекулалар концентрацияси ва ҳароратига боғланиши (2.10-формула) аниқланди. Бу боғланишдан фойдаланиб, маълум массали анча сийрак газ ҳолатини тавсифловчи учала макроскопик параметр p , V ва T ни бир-бирига боғловчи тенгламани чиқариш мумкин. Бу тенглама *идеал газ ҳолатининг тенгламаси* деб аталади.

$p = nkT$ кўринишдаги тенгламага газ молекулалари концентрациясининг ифодасини қўямиз. (1.8) формуладани ҳисобга олсак, газ концентрациясини қуйидагича ёзиш мумкин:

$$n = \frac{N}{V} = \frac{1}{V} \frac{m}{M} N_A, \quad (3.1)$$

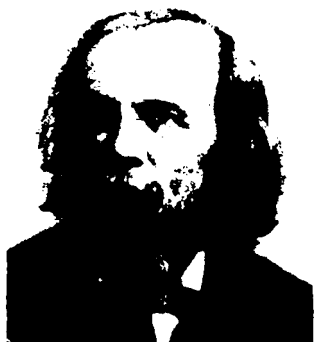
бу ерда N_A — Авогадро доимийси, m — газ массаси, M — газнинг моляр массаси.

(3.1) ифодани (2.10) тенгламага қўйсак,

$$pV = \frac{m}{M} k N_A T. \quad (3.2)$$

Больцман доимийси k билан Авогадро доимийси N_A нинг қўпайтмаси *универсал (моляр) газ доимийси* деб аталади ва R ҳарфи билан белгиланади:

$$R = k N_A = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Ж/К} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{моль}} = 8,31 \text{ Ж/(моль} \cdot \text{К)} \quad (3.3)$$



Менделеев Дмитрий Иванович (1834—1907) — фандаги энг чуқур умумлаштирмалардан бири бўлган системани — элементларнинг даврий системасини яратган улуғ рус олими. Д. И. Менделеев газлар назарияси ва газлар билан суюқликларнинг бир-бирига айланиши тўғрисида муҳим асарлар яратган (критик ҳароратни кашф этган; бундан юқори ҳароратда газларни суюқликка айлантириб бўлмайди). Илғор жамоат арбоби Д. И. Менделеев Россиянинг ишлаб чиқариш кучларини ривожлантириш, фойдали қазилмаларни ишлатиш ва химия саноатини ривожлантириш учун кўп ишлар қилди.

(3.2) тенгламада kN_A кўпайтма ўрнига универсал газ доимийси R ни кўйсак, ихтиёрий массали идеал газ ҳолатининг тенгламаси ҳосил бўлади:

$$pV = \frac{m}{M} RT. \quad (3.4)$$

Бу тенгламада газнинг турига боғлиқ бўлган ягона миқдор — газнинг моляр массасидир.

Ҳолат тенгламасидан идеал газнинг ихтиёрий икки ҳолатдаги босими, ҳажми ва ҳарорати ўртасидаги муносабат келиб чиқади.

Агар биринчи ҳолатга тегишли параметрларга 1 индекси, иккинчи ҳолатга тегишли параметрларга 2 индекси кўйилса, у ҳолда (3.4) тенгламадан маълум массали газ учун куйидаги икки тенглама келиб чиқади:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{m}{M} R \quad \text{ва} \quad \frac{p_2 V_2}{T_2} = \frac{m}{M} R.$$

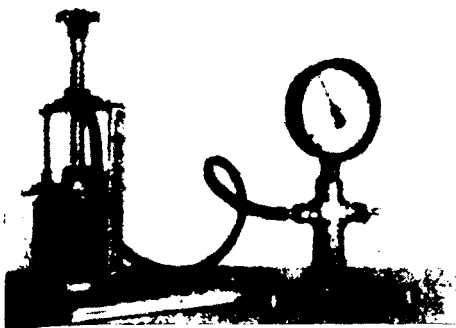
Бу тенгламаларнинг ўнг томонлари бир хил. Бинобарин, уларнинг чап томонлари ҳам тенг бўлиши керак:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} = \text{const}. \quad (3.5)$$

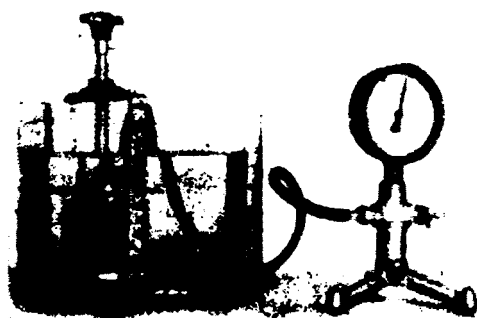
(3.5) кўринишидаги ҳолат тенгламаси *Клапейрон¹ тенгламаси* деб аталади ва ҳолат тенгламасининг кўринишларидан бири ҳисобланади.

(3.4) кўринишидаги ҳолат тенгламасини биринчи бўлиб улуғ рус олими Д. И. Менделеев топган. Шунинг учун бу тенглама Менделеев — Клапейрон тенгламаси деб аталади.

¹ Клапейрон Б. П. (1799 — 1864) — француз физиги, ўн йил мобайнида Россияда ишлаган.



24а-расм



24б-расм

Ҳолат тенгламаси нима учун керак? Фақат идеал газгина эмас, балки ҳар қандай реал система — газ, суюқлик ёки қаттиқ жисм ҳам ўзининг ҳолат тенгламаси билан тавсифланади. Лекин бу тенгламалар идеал (анча сийрақлашган) газга оид Менделеев — Клапейрон тенгламасидан кўра анчагина мураккабдир.

Иссиқлик ҳодисаларини тадқиқ қилишда ҳолат тенгламасини билиш зарурийдир. Ҳолат тенгламасини билиш турли хил саволларнинг учта группасига тўлиқ ёки қисман жавоб бериш имконини туғдиради.

Ҳолат тенгламаси қолган икки миқдор маълум бўлганда ҳолатни ифода қиладиган миқдорларнинг бирини, масалан ҳароратни аниқлашга имкон беради. Термометрларда мана шу ҳолдан фойдаланилади.

Ҳолат тенгламасини билган ҳолда системада турли хил жараёнлар маълум бир ташқи шароитларда қандай кечишини, масалан, ўзгармас ҳарорат шароитида газнинг ҳажми орттирилганда унинг босими қандай ўзгариши ва шу қабиларни айтиб бериш мумкин. Бу тўғрида кейинги параграфда баён қиламиз.

Ниҳоят, ҳолат тенгламасини билган ҳолда агар система иш бажарса ёки атрофдаги жисмлардан иссиқлик олса унинг ҳолати қандай ўзгаришини аниқлаш мумкин. Бу ҳақда «Молекуляр физика. Иссиқлик ҳодисалари» бўлимининг охирида сўз юритилади.

Ҳолат тенгламасини тажрибада текшириш. (3.5) кўринишидаги ҳолат тенгламасининг тўғрилигига 24-расмда тасвирланган асбоб ёрдамида ишонч ҳосил қилиш мумкин.

Гофрланган герметик идиш манометрга уланган, манометр идишнинг ичидаги босимни қайд қилади. Винт буралганда идишнинг ҳажми ўзгаради. Ҳажм чизғичга қараб аниқланади. Идиш ичидаги газнинг ҳарорати атрофдаги ҳавонинг ҳароратига тенг бўлиб, у термометр ёрдамида қайд қилинади.

Газнинг бошланғич ҳолатдаги босими p_1 , ҳарорат T_1 ва ҳажми V_1 ни ўлчаб (24, а-расм), $\frac{p_1 V_1}{T_1}$ нисбатни ҳисоблаб чиқиш мумкин

(эсингида турсин: T — Цельсий шкаласидан топиладиган ҳарорат эмас, балки абсолют ҳарорат).

Бундан кейин идишнинг ҳажмини ўзгартириб, уни иссиқ сувга солиб, газни иситамиз (24, б-расм). Яна газнинг босими p_2 , ҳажми V_2 ва ҳарорат T_2 ни ўлчаб $\frac{p_2 V_2}{T_2}$ нисбатни ҳисоблаб топиш мумкин.

Тажрибада ишлатилаётган қурилма имкон берадиган аниқлик чегарасида (3.5) ҳолат тенгламаси тўғри бўлиб чиқади. Бир неча юз атмосфера келадиган босимлардагина тажриба натижалари идеал газнинг ҳолат тенгламасидан келиб чиқадиган натижалардан катта фарк қилади. Зич газларни тақрибан бўлса ҳам идеал газ деб ҳисоблаш мумкин эмас.

Ҳолат тенгламасини ҳар гал келтириб чиқаравериш шарт эмас, уни эслаб қолиш лозим. Газнинг универсал доимийси кийматини ҳам эсда тутган маъқул: $R \approx 8,31 \text{ Ж / (моль К)}$.

?

1. Ҳолат тенгламаси деб нимага айтилади?
2. Ҳолат тенгламасининг қайси шаклида маълумот кўпроқ: Клапейрон тенгламасидами ёки Менделеев — Клапейрон тенгламасидами?
3. Газ доимийси R нима учун универсал доимий деб аталади?

14-§. ГАЗ ҚОНУНЛАРИ

Идеал газ ҳолати тенгламаси ёрдамида газнинг массаси ва босим, ҳажм ёки ҳарорат каби учта параметрдан биттаси ўзгармас бўладиган жараёнларни тадқиқ қилиш мумкин. Газ ҳолатининг битта параметри ўзгармас бўлган ҳолдаги қолган икки параметри ўртасидаги муқдорий боғланишларга газ қонунлари дейилади.

Параметрлардан биттаси ўзгармас бўлган ҳолда кечадиган жараёнлар *изожараёнлар*¹ деб аталади. Тўғри, аслида ҳеч бир жараён параметрлардан бирининг киймати қатъий бир хил бўлган ҳолда юз беролмайди. Ҳамиша ҳарорат, босим ёки ҳажмнинг доимий бўлиб туришини бузадиган таъсирлар албатта бўлади. Лаборатория шароитидагина бирор параметрни яхши аниқлик билан доимий қилиб сақлаб туриш мумкин, аммо ишлаб турган техник қурилмаларда ва табиатда бунини амалга ошириб бўлмайди. Изожараён реал жараённинг воқеликни тахминан акс эттирадиган идеаллаштирилган моделидир.

Изотермик жараён. *Макроскопик жисмлар ҳолатининг ҳарорат ўзгармай турадиган шароитдаги ўзгариш жараёни изотермик жараён деб аталади.* Газ ҳароратини ўзгартирмай сақлаб туриш учун газ термостат деб аталадиган катта система билан иссиқлик алмашиб туриши керак. Акс ҳолда сиқилганда ёки кенгайганда газнинг ҳарорати ўзгаради. Агар атмосфера ҳавосининг ҳарорати мана шу жараён юз берадиган вақт давомида

¹ Грекча «изос» — тенг деган сўздан келиб чиққан.

сезиларли, равишда ўзгармаса, атмосфера хавосини термостат деса бўлади.

Идеал газ ҳолатининг (3.4) тенгламасига асосан, ҳарорат ўзгармас бўлган ҳар қандай ҳолатда газ босимининг ҳажмига кўпайтмаси ўзгармас микдор бўлади.

$$T = \text{const} \quad \text{бўлганда} \quad pV = \text{const}. \quad (3.6)$$

Агар маълум бир массали газнинг ҳарорати ўзгармаса, газ босими билан ҳажмининг кўпайтмаси ўзгармайди.

Бу қонунни инглиз олими Р. Бойль (1627—1691) ва ундан бир оз кейин француз олими Э. Мариотт (1620—1684) тажрибада кашф этганлар. Шу сабабли бу қонун *Бойль — Мариотт қонуни* деб аталади.

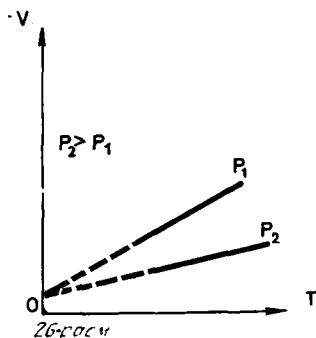
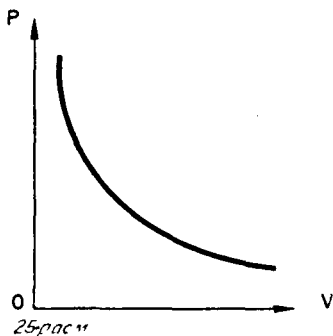
Бойль — Мариотт қонуни ҳар қандай газ учун, шунингдек, газларнинг аралашмаси (масалан, ҳаво) учун ҳам тўғри. Атмосфера босимидан бир неча юз марта ортик бўлган босимлар шароитидагина бу қонундан жиддий четланишлар юз беради.

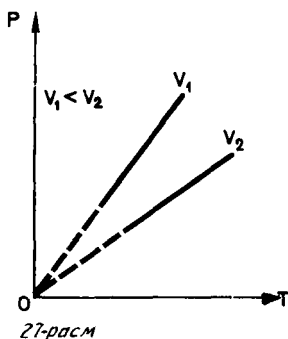
Атмосфера босимига яқин босимлар шароитида Бойль — Мариотт қонунининг тўғри эканлигига бундан олдинги параграфда тавсифланган қурилма воситасида ишонч ҳосил қилиш мумкин.

Ҳарорат ўзгармас бўлганда газ босимининг ҳажмига боғлиқ бўлиши график равишда эгри чизик билан тасвирланади, бу эгри чизик *изотерма* деб аталади. Газ изотермаси босим билан ҳажм ўртасидаги тесқари пропорционал муносабатни тасвирлайди. Бундай эгри чизик математикада гипербола деб аталади (25-расм).

Турли ўзгармас ҳароратларга турли изотермалар мос келади. Агар $V = \text{const}$ бўлса, ҳарорат кўтарилганда, (3.4) ҳолат тенгламасига кўра босим ортади. Шунинг учун юқорирок T_2 ҳароратга мос келадиган изотерма пастроқ T_1 ҳароратга мос келадиган изотермадан юқорида ётади.

Ҳавони компрессор ёрдамида сиқиш ёки идиш ичидаги газни идишдан сўриб олишда газнинг насос поршени тагида кенгайиши





жараёнини тахминий равишда изотермик жараён деб аташ мумкин. Тўғри, бунда газнинг ҳарорати ўзгаради, лекин биринчи яқинлашишда бу ўзгаришни эътиборга олмаслик мумкин.

Изобарик жараён. Термодинамик система ҳолатининг босим ўзгармай турадиган шароитдаги ўзгариш жараёни изобарик¹ жараён деб аталади.

(3.4) тенгламага асосан, ўзгармас босимли ҳар қандай ҳолатда газ ҳажмининг ҳароратига нисбати ўзгармайди:

$$p = \text{const} \text{ бўлганда } \frac{V}{T} = \text{const}. \quad (3.7)$$

Агар маълум бир массали газнинг босими ўзгармаса, газ ҳажмининг ҳароратга нисбати ўзгармайди.

Бу қонунни француз олими Ж. Гей-Люссак (1778—1850) 1802 йилда тажрибада топган ва бу қонун *Гей-Люссак қонуни* деб аталади. (3.7) тенгламага асосан, босим ўзгармай турадиган шароитда газнинг ҳажми ҳароратга чизикли боғлиқ бўлади:

$$V = \text{const} \cdot T. \quad (3.8)$$

Бу муносабат график равишда тўғри чизик билан тасвирланади, бу чизик *изобара* деб аталади (26-расм).

Ҳар хил босимларга ҳар хил изобаралар мос келади. Ҳарорат ўзгармай турганда босим ортса, Бойль—Мариотт қонунига асосан, газнинг ҳажми камаяди. Шунинг учун юқорироқ p_2 босимга мос келган изобара пастроқ p_1 босимга мос келган изобарадан пастроқда ётади.

Паст ҳароратлар соҳасида идеал газнинг ҳамма изобаралари $T=0$ нуқтада кесишади. Бироқ бу реал газнинг ҳажми ҳақиқатан ҳам нолга айланади деган мазмунни англатмайди. Қаттиқ совитилганда ҳамма газлар суюқликка айланади, суюқликларга эса (3.4) ҳолат тенгламасини қўллаб бўлмайди.

Қўзғалувчан поршенли цилиндр ичида газнинг кенгайишини изобарик жараён деб ҳисоблаш мумкин. Атмосфера поршеннинг ташқи сиртига босим бериб тургани ҳисобига босим доимий бўлиб туради.

Изохорик жараён. Термодинамик система ҳолатининг ҳажми ўзгармай турадиган шароитдаги ўзгариш жараёни *изохорик*¹ жараён деб аталади.

¹ Грекча «барос» — оғирлик деган сўздан келиб чиққан.

(3.4) ҳолат тенгламасига асосан газнинг ҳажми ўзгармас бўлган ҳар қандай ҳолатда босимнинг ҳароратга нисбати ўзгармайди:

$$V = \text{const} \text{ бўлганда } \frac{p}{T} = \text{const}. \quad (3.9)$$

Агар маълум бир массали газнинг ҳажми ўзгармаса, газ босимининг ҳароратга нисбати ўзгармайди.

Бу қонунни француз физиги Ж. Шарль (1746—1823) 1787 йилда топган ва у Шарль қонуни деб аталади. (3.9) тенгламага асосан, ҳажм ўзгармай турадиган шароитда газнинг босими ҳароратга чизикли боғлиқ:

$$p = \text{const} \cdot T. \quad (3.10)$$

Бу муносабат график равишда тўғри чизик билан тасвирланади, бу тўғри чизик *изохора* деб аталади (27-расм). Турли ҳажмларга турли изхоралар мос келади. Ҳарорат ўзгармай турганда газнинг ҳажми ортса, Бойль — Мариотт қонунига асосан, босим пасаяди. Шунинг учун каттарок V_2 ҳажмга мос келган изохора кичикроқ V_1 ҳажмга мос келган изохорадан пастроқда ётади.

(3.10) тенгламага асосан, ҳамма изхоралар $T=0$ нуқтадан бошланади. Демак, *абсолют ноль ҳароратда идеал газнинг босими нолга тенг.*

Ҳар қандай идишда ёки электр лампочкада иситилганда газ босимининг ортиши изохорик жараён ҳисобланади. Изохорик жараёндан ўзгармас ҳажмли газ термометрида фойдаланилади.

Газ қонунларини ёдлашга зарурат йўқ. Ҳар қандай газ қонунини сиз идеал газнинг ҳолат тенгламасидан чиқара оласиз.

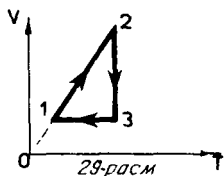
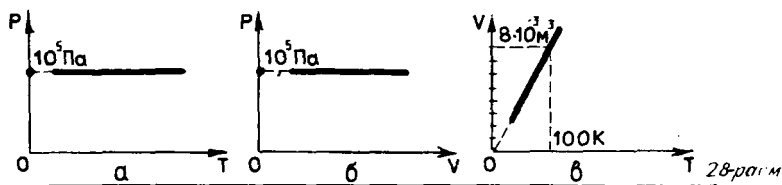


1. Сиз лунжингизни шиширингиз. Бунда оғзингиздаги ҳавонинг ҳажми ҳам, босими ҳам ортади. Бу ҳолни Бойль–Мариотт қонуни билан қандай мувофиқлаштириш мумкин?
2. Идеал газнинг T_1 ва $T_2 > T_1$ ҳароратларга мос икки изотермасини чизинг.
3. Изотермик, изобарик ва изохорик жараёнларни қандай қилиб амалда қилиб кўриш мумкин?
4. Газ қонунларини молекуляр-кинетик назария асосида сифат томондан изоҳлаб беринг.

МАСАЛА ЕЧИШ НАМУНАЛАРИ

Ҳолат тенгламасини ва газ қонунларини татбиқ этиб ечиладиган масалаларда одатда қуйидаги ҳолларга дуч келиши мумкин:

¹ Грекча «хорема» — *сифим* деган сўздан келиб чиққан.



29-расм

1. Газнинг бошланғич ҳолатдаги макроскопик параметрлари ва охириги ҳолатдаги баъзи параметрлари маълум.

Агар бошланғич ҳолатдан охириги ҳолатга ўтишда параметрлардан биттаси ўзгармаса, изотермик жараёнда Бойль — Мариоттнинг

(3.6) шаклда ёзилган қонунидан ёки унга эквивалент бўлган ва (3.6)

дан келиб чиқадиган $\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1}$ қонундан фойдаланиш мумкин. Изо-

барик жараёнда Гей-Люссакнинг (3.7) шаклда ёзилган қонунидан ёки унга эквивалент бўлган $\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$ шаклдаги қонундан фойдаланиш мумкин; изохорик жараёнда Шарлнинг (3.9) қонунидан ёки унга эквивалент бўлган $\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}$ шаклдаги қонундан фойдаланиш мумкин.

Агар учала параметр ўзгарса, газ ҳолатининг (3.4) ёки (3.5) тенгламасидан фойдаланиш керак.

2. Газнинг маълум бир ҳолатидаги макроскопик параметрларнинг бир қисми маълум. Номаълум микдорларни топиш керак. Бу ҳолларда энг қулайи Менделеев — Клапейроннинг (3.4) тенгламасидан фойдаланишдир.

3. Қўп масалаларда турли хил жараёнларни тасвирлайдиган графиклар чизиш талаб қилинади. График чизиш учун параметрларнинг бир-бирига қандай боғлиқ эканлигини билиш керак. Бу боғланиш умумий ҳолда ҳолат тенгламаси билан хусусий ҳолларда газ қонунлари билан ифодаланади.

Ҳамма масалаларни ечишда системанинг бошланғич ҳолати қандай эканлигини ва системани охириги ҳолатга қандай жараён ўтказишини аниқ тасаввур этиш керак.

1. Ичиди $p_1 = 4 \cdot 10^5$ Па босимли $V_1 = 0,02$ м³ ҳаво бўлган баллон ичидан ҳавоси сўриб олинган $V_2 = 0,08$ м³ сифимли баллонга уланди. Идишларда қарор топган p босимни топинг. Ҳарорат ўзгармайди.

Ечилиши. Биринчи баллондаги ҳаво ўзига қўйиб берилган бутун $V_1 + V_2$ ҳажмни эгаллайди. Бойль—Мариотт қонунига асосан

$$\frac{p}{p_1} = \frac{V_1}{V_1 + V_2}$$

Бундан изланаётган босимни топамиз:

$$p = \frac{p_1 V_1}{V_1 + V_2} = 10^5 \text{ Па}$$

2. Нормал шароитда (яъни $t_0 = 0^\circ\text{C}$ ва $p_0 = 101325$ Па нормал атмосфера босими шароитида) ҳавонинг зичлиги $\rho = 1,29$ кг/м³. Ҳавонинг ўртача моляр массаси M ни топинг.

Ечилиши. Нормал шароитда идеал газ ҳолатининг тенгламаси $p_0 V_0 = \frac{m}{M} RT_0$ кўринишида ёзилади. Бу ерда $T_0 = 273$ К ва $R = 8,31$ Ж/(моль·К). Шунинг учун

$$M = \frac{mRT_0}{V_0 p_0} = \frac{\rho_0 T_0}{\rho_0} R \approx 0,029 \text{ кг/моль.}$$

3. p_0 нормал атмосфера босими шароитида турган 2 г водород учун p, T ўқларида; p, V ўқларида ва V, T ўқларида изобаралар чизинг.

Ечилиши. p нинг T га боғланиш ва p нинг V га боғланиш графикларида изобара T ўқиға ёки V ўқиға параллел бўлган тўғри чизиқ билан тасвирланади (28, а ва б-расм).

$V = \frac{mR}{Mp_0} T$ бўлгани учун V нинг T га боғланиш графиги саноқ бошидан ўтадиган тўғри чизиқ бўлади. $m = 0,002$ кг, $M = 0,002$ кг/моль, $R = 8,31$ Ж/(моль·К) ва $p_0 \approx 10^5$ Па эканлигини ҳисобга олиб, $V = VT$ деб ёзиш мумкин, бу ерда $V = \frac{mR}{Mp_0} \approx 8 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^3}{\text{К}}$. $T = 100$ К бўлган хусусий ҳолда $V \approx 8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$. V нинг T га боғланиш графиги 28, в-расмда кўрсатилган.

3- МАШҚ

1. $V_1 = 8$ л ҳажмли газ ҳажми $V_2 = 6$ л га келгунча изотермик равишда сиқилди. Бу ҳолда босим $\Delta p = 4$ кПа миқдорда ортди. Бошланғич p_1 босим нимага тенг бўлган?

*2. Отбой болғаларининг ишлашини таъминлаб турган компрессор атмосферадан секундиға $V = 100$ л ҳаво сўради. Агар ҳар бир болғаниннг ишлаши учун ҳар секундда босими $p = 5$ МПа бўлган $V_1 = 100$ см³ ҳаво керак бўлса, бу компрессор нечта болғани ишлатиб тура олади? Атмосфера босими $p_0 = 100$ кПа га тенг.

3. 0°C ҳароратли 2 г водород учун $p, V; V, T$ ва p, T координата ўқларида изотермалар чизинг.

4. Епиқ идиш ичидаги газ 1 К га иситилганда босим бошланғич босимға нисбатан 0,4 % га ортади. Идишдаги газнинг ҳароратини аниқланг.

5. Маълум бир массали газ бир ҳолатдан бошқа ҳолатга ўтганда босими камаяди ҳарорати кўтарилади. Газнинг ҳажми ортадиме ёки камайдими?

6. Нормал шароитда бир моль идеал газнинг ҳажми нимага тенг?

7. Сиз ўқиётган синф хонасидаги ҳавонинг 20°C ҳарорат ва нормал атмосфера босими шароитидаги массасини аниқланг. Ҳавонинг моляр массасини $0,029 \text{ кг/м}^3$ га тенг деб олинг.

8. 10°C ҳарорат ва нормал атмосфера босими шароитида маълум бир газнинг зичлиги $2,5 \text{ кг/м}^3$ га тенг. Бу газнинг моляр массасини топинг.

9. Ҳажми $0,03 \text{ м}^3$ бўлган баллондаги 455°C ҳароратли газнинг босими $1,35 \cdot 10^6 \text{ Па}$ бўлган. Нормал шароитларда ($t_0=0^{\circ}\text{C}$ $p_0=101325 \text{ Па}$) бу газ қандай ҳажми эгаллаган бўлар эди?

10. Помир тоғидаги Ленин чўққисининг баландлиги 7134 м . Бу баландликда атмосфера босими $3,8 \cdot 10^4 \text{ Па}$. Ҳавонинг нормал шароитдаги зичлиги $1,29 \text{ кг/м}^3$. Шу чўққида ҳавонинг зичлиги 0°C да нимага тенг бўлади?

*11. Идеал газ ҳолатининг V, T координаталарида ўзгариш графиги 29-расмда кўрсатилган. Бу жараёни p, V ва p, T координаталарида график равишда тасвирланг.

12. Молекуланинг ўртача квадратик тезлигини универсал газ доимийси ва моляр масса орқали ифодаланг.

13. Баллондаги газнинг ҳарорати 15°C . Агар газнинг 40% миқдори баллондан чиқиб кетиб, бунда газнинг ҳарорати 8°C га пасайса, газнинг босими қанча марта камаяди?

III БОБНИНГ ҚИСҚАЧА ЯКУНЛАРИ¹

1. Термодинамик параметрлар бир-бирига ҳолат тенгламаси орқали боғланган. Етарлича сийраклашган ҳамма газлар (идеал газлар) Менделеев — Клапейроннинг ҳолат тенгламасини қаноатлантиради:

$$pV = \frac{m}{M} RT,$$

бу ерда p — газнинг босими, V — ҳажми, m — массаси, M — моляр масса, T — абсолют ҳарорат, $R=8,31 \text{ Ж/(моль} \cdot \text{К)}$ — универсал газ доимийси.

2. Термодинамик параметрлардан биттаси ўзгармас бўлганда қолган иккитаси орасидаги муносабатни ифодалайдиган газ қонунлари ҳолат тенгламасидан хусусий ҳол сифатида келиб чиқади.

Маълум массали газ учун:

а) $T = \text{const}$ бўлганда $pV = \text{const}$ бўлиши (Бойль — Мариотт қонуни),

б) $p = \text{const}$ бўлганда $\frac{V}{T} = \text{const}$ бўлиши (Гей-Люссак қонуни)

в) $V = \text{const}$ бўлганда $\frac{p}{T} = \text{const}$ бўлиши (Шарль қонуни).

¹ Бобнинг яқунларини ўқишдан олдин I бобнинг (шунингдек, II бобнинг) қисқача яқунларидан олдин берилган тавсияларни бажаринг. Бу ердаги муҳим хулосалар 2 — 3 тадан ортиқдир.

СУЮҚЛИК ВА ГАЗЛАРНИНГ БИР-БИРИГА АЙЛАНИШИ

Молекуляр-кинетик назария модданинг нима сабабдан газ, суюқ ва қаттиқ ҳолатда бўла олишини тушуниб олишгагина эмас, балки модданинг бир ҳолатдан бошқа ҳолатга ўтиш жараёнининг сабабларини ҳам изоҳлаб беришга имкон яратади.

15- §. ТУЙИНГАН БУҒ

Идеал газни суюқликка айлантириб бўлмайди. Реал газ суюқликка айланади. Бу жараён қандай юз беради? Газ буғдан нима билан фарқ қилади?

Буғланиш ва конденсацияланиш. Оғзи яхшилаб беркитилган атир идиш жуда узоқ вақт турса-да, ундаги атир миқдори ўзгармайди. Ўша идиш оғзи очик қолдирилса, анчадан сўнг идишга қарасангиз идиш ичида атир қолмайди. Ичида хушбўй моддалар эриган суюқлик буғланиб кетган. Асфальт йўлдаги кўлмак эса бундан ҳам тезроқ буғланади (қурийди), айниқса ҳавонинг ҳарорати юқори ва шамол эсиб турган бўлса.

Бу ҳодисани қуйдагича тушунтириш мумкин.

Суюқликнинг молекулалари тартибсиз ҳаракат қилади. Суюқликнинг ҳарорати қанча юқори бўлса, молекулаларининг кинетик энергияси шунча катта бўлади. Кинетик энергиянинг ўртача қиймати эса тайинли бир ҳароратда тайинли бир қийматга эга бўлади. Ҳар бир молекуланинг бир ондаги кинетик энергияси ўртача қийматдан ортиқ бўлиши ҳам, кам бўлиши ҳам мумкин. Маълум бир пайтда айрим молекулаларнинг кинетик энергияси шунчалик катта бўлиб қолиши мумкин-ки, улар бошқа молекулаларнинг тортиш кучини енгиб, суюқликдан чиқиб кета олади. *Буғланиш* жараёни мана шундан иборат.

Учиб чиққан молекула газнинг тартибсиз иссиқлик ҳаракатида иштирок этади. Тартибсиз ҳаракат қилиб бу молекула очик идишдаги газ сиртидан бутунлай узоқлашиб кетиши мумкин, шунингдек суюқликка қайтиб тушиши ҳам мумкин. Бундай жараён *конденсацияланиш* деб аталади.

Агар идиш устидаги ҳаво оқими суюқликнинг ҳосил бўлган буғларини ўзи билан олиб кетиб турса, суюқлик тезроқ буғланади, чунки буғ молекуласида суюқликка қайтиб тушиш имконияти камаяди. Суюқликнинг ҳарорати қанча юқори бўлса, суюқликдан чиқиб кетишга етадиган кинетик энергияга эга бўлган молекулалар сони шунча кўп бўлади, буғланиш шунча тез боради.

Буғланишда тезроқ ҳаракат қиладиган молекулалар суюқликдан чиқиб кетади, шунинг учун суюқлик молекулаларининг кинетик энергияси камаяди. Демак, суюқликнинг ҳарорати пасаяди. Қўлингизни тез буғланувчи суюқлик (бензин ёки ацетон) билан ҳўлласангиз, шу заҳотиёқ ҳўлланган жойнинг

каттик совиганини сезасиз. Агар қўлингизга пуфласангиз янада кучлироқ совийди.

Агар суюкликни буғлана олмайдиган қилиб қўйсангиз, суюкликнинг совиши анча секин боради. Ёглик шўрва секин совишини эсланг. Шўрванинг юзидаги ёғ қатлами сувнинг тез ҳаракатланадиган молекулаларининг чиқишига ҳалакит беради. Суюклик деярли буғланмайди, унинг ҳарорати секин пасаяди (ёғнинг ўзи жуда секин буғланади, чунки унинг катта молекулалари сув молекулаларига қараганда бир-бири билан каттикрок жипслашган).

Тўйинган буғ. Агар идиш зич қилиб беркитиб қўйилса суюкликнинг камайиши тезда тўхтайтиди. Ҳарорат ўзгармай турганда «суюклик — буғ» системаси иссиқлик мувозанати ҳолатига келади ва бу ҳолатда истаганча узоқ вақт бўла олади. Буғланиш жараёни билан бир вақтда конденсацияланиш ҳам юз беради ва бу иккала жараён ўрта ҳисобда бир-бирини компенсациялайди.

Суюклик идишга куйилиб, эндиgina қопқок ёпилган дастлабки пайтда суюклик ҳали буғланаверади ва суюклик устидаги буғ зичлиги ортади. Бироқ шу билан бирга суюкликка қайтиб тушаётган молекулалар сони ҳам ортиб боради. Буғнинг зичлиги қанчалик катта бўлса, шунчалик кўп молекула суюкликка қайтиб тушади. Натижада ёпиқ идишда ҳарорат ўзгармай турганда бориб-бориб суюклик билан буғ ўртасида динамик (ҳаракатчан) мувозанат қарор топади, яъни суюклик ичидан бирор вақт ичида чиқиб кетаётган молекулалар сони ўша вақт ичида суюкликка қайтиб тушаётган буғ молекулаларининг ўртача сонига тенг бўлади. Уй ҳароратидаги сув учун бу сон 1 см^2 сирт юзадан 1 с да 10^{22} та молекулага тенг.

Ўзининг суюқлиги билан динамик мувозанатда бўлган буғ тўйинган буғ деб аталади. Бу таърифнинг ўзи маълум бир ҳароратда маълум бир ҳажмда бундан ортик буғ бўлиши мумкин эмаслигини кўрсатади.

Агар суюклик турган идишдаги ҳаво олдин сўриб олинган бўлса, у ҳолда суюклик сирти устида фақат тўйинган буғ бўлади.

Тўйинган буғ босими. Агар тўйинган буғ эгаллаб турган ҳажм кичрайтирилса, масалан, цилиндрда поршень остида ўз суюқлиги билан мувозанатда турган буғ сиқилса (бунда буғ ва суюкликнинг ҳарорати ўзгартирилмай турса), тўйинган буғ билан нима ходиса юз беради?

Буғ сиқилганда мувозанат бузила бошлайтиди. Дастлабки вақтда буғнинг зичлиги бир оз ортади ва газдан суюкликка ўтувчи молекулалар сони суюликдан газга ўтувчи молекулалар сонидан ортик бўлади. Вақт бирлиги ичида суюликдан чиқиб кетаётган молекулалар сони фақат ҳароратга боғлиқ бўлгани туфайли буғнинг сиқилиши суюликдан чиқиб кетаётган молекулалар сонини ўзгартирмайди. Бу жараён мувозанат қарор топмагунча ва зичлик (демак, молекулалар концентрацияси ҳам) аввалги қийматини олмагунча давом этади. Бинобарин, *тўйинган буғ*

молекулаларининг концентрацияси ўзгармас ҳарорат шароитида ҳажмга боғлиқ эмас.

Босим молекулалар концентрациясига пропорционал ($p = nkT$) бўлгани сабабли бу таърифдан *тўйинган буғнинг босими ўзи эгаллаб турган ҳажмга боғлиқ эмаслиги* келиб чиқади.

Суюқлик ўзининг буғи билан мувозанатда бўлган ҳолдаги ҳажмга боғлиқ бўлмаган p_0 босим тўйинган буғ босими деб аталади.

Тўйинган буғ сиқилганда унинг тобора кўпроқ қисми суюқ ҳолатга ўтади. Тайинли бир массага эга бўлган суюқлик ўшандай массали буғга қараганда кам ҳажми эгаллайди. Натижада буғнинг зичлиги ўзгармас бўлганда ҳажми камаяди.

Тўйинмаган буғ. Биз «газ» ва «буғ» сўзларини кўп ишлатдик. Газ билан буғ ўртасида ҳеч қандай муҳим фарқ йўқ ва умуман олганда бу сўзларнинг қиймати бир хил. Лекин ўзгармас ҳароратда газни оддий сиқиш йўли билан суюқликка айлантириш мумкин бўлса, бу газни биз буғ деб, туғрироғи, *тўйинмаган буғ* деб айтамыз. Буғ суюқликка айлана бошлаши биланок суюқлиги билан мувозанатда турган буғ тўйинган буғ бўлиб қолади.

Суюқликнинг буғланиши ва буғнинг конденсацияланиши манзараси жуда оддий. Газнинг энг қизиқарли ҳолати — тўйинган буғ ҳолатидир. Буғ суюқлик билан мувозанатда бўлади, унинг босими ва зичлиги ҳажмга боғлиқ эмас.

- ! 1. Нима учун ит иссиқ кунда тилини осилтиради? 2. Нима учун тўйинган буғнинг босими ҳажмга боғлиқ эмас? 3. Тўйинган буғ билан суюқликнинг динамик мувозанатига ўхшаган мисолларни келтира оласизми?

16-§. ТҲЙИНГАН БУҒ БОСИМИНИНГ ҲАРОРАТГА БОҒЛИҚ БУЛИШИ. ҚАЙНАШ. КРИТИК ҲАРОРАТ

Суюқлик буғланибгина қолмайди. Маълум бир ҳароратда у қайнайди. Бу ҳарорат нима билан аниқланади? Ҳароратнинг қандай қийматида газни суюқликка айлантириб бўлмайди? Ҳозир биз шу саволларга жавоб берамиз.

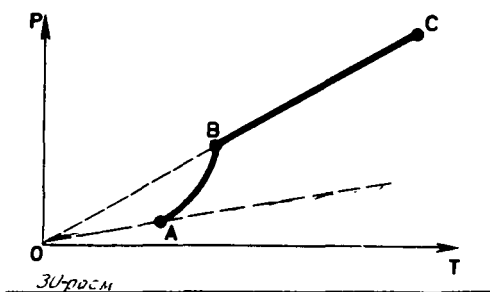
Тўйинган буғ босимининг ҳароратга боғлиқ бўлиши. Тўйинган буғнинг ҳолатини тажрибанинг кўрсатишича, идеал газ ҳолатининг (3.4) тенгласи такрибан ифодалади, унинг босимини эса

$$p_0 = nkT \quad (4.1)$$

формула такрибан аниқлайди.

Ҳарорат кўтарилгани сари босим ортади. *Тўйинган буғ босими ҳажмга боғлиқ бўлмагани учун фақат ҳароратга боғлиқ бўлар экан.*

Бирок тажрибадан топилган бу $p_0(T)$ боғланиш ўзгармас ҳажм шароитидаги идеал газникидек туғри пропорционал боғланиш эмас экан. Ҳарорат кўтарилгани сари тўйинган буғ босими идеал газнинг босимидан кўра тезроқ ортади (30-расм, эгри чизик-



нинг AB қисми). Агар A нуқтадан изохора (пунктир тўғри чизик) ўтказилса, бу ҳол айниқса равшан кўринади. Нимага шундай бўлади.

Буғ билан суюқлик ёпик идишда истилганда суюқликнинг бир қисми буғга айланади. Натижада (4.1) формулага асосан *буғнинг*

босими ҳарорат кўтарилиши туфайлигина эмас, балки буғ молекулаларининг концентрацияси (буғнинг зичлиги) ортиши туфайли ҳам ортади. Босимнинг ҳароратга боғлиқ равишда ортиши асосан молекулалар концентрациясининг ортишига боғлиқ бўлади. Идеал газ билан тўйинган буғ характерининг асосий фарқи шундаки, ёпик идишдаги буғнинг ҳарорати ўзгарганда (ёки ўзгармас ҳарорат шароитида ҳажм ўзгарганда) массаси ўзгаради. Суюқлик қисман буғга айланади ёки, аксинча, буғ қисман конденсацияланади. Идеал газда бундай ўзгаришлар бўлмайди.

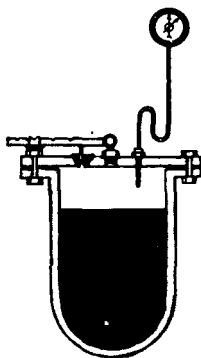
Суюқлик бутунлай буғга айланиб бўлгандан кейин буғ яна иситилса, у тўйинган буғ бўлмай қолади ва унинг босими ўзгармас ҳажм шароитида абсолют ҳароратга тўғри пропорционал равишда ортади (30- расм, эгри чизикнинг BC қисми).

Қайнаш. Суюқликнинг ҳарорати кўтарилса борган сари буғланиш жадаллиги ортади. Ниҳоят, суюқлик қайнай бошлайди. *Қайнаш жараёнида суюқликнинг бутун ҳажмида тез катталашадиган буғ пуфакчалари пайдо бўлиб, улар суюқлик юзига қалқиб чиқади. Суюқлик қайнаётганда ҳарорати ўзгармай тураверади.* Чунки суюқликка берилаётган бутун энергия суюқликни буғга айлантиришга сарф бўлади. Қандай шароитда қайнаш бошланади?

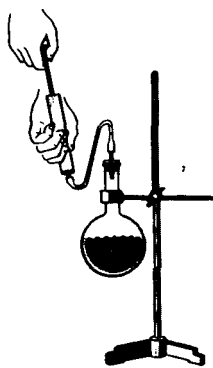
Суюқликда ҳамиша эриган газлар бўлади, бу газлар идишнинг туби ва деворларида ҳамда суюқлик ичида муаллақ ҳолда юрган чанг зарраларида майда-майда пуфакчалар тарзида ажралади. Пуфакчалар ичидаги буғлар (суюқлик буғлари) тўйинган буғлардир. Ҳарорат кўтарилса боргани сари тўйинган буғнинг босими ортади ва пуфакчалар катталаша боради. Итариб чиқарувчи куч таъсирида пуфакчалар юқорига қалқиб чиқади. Агар суюқликнинг юқориги қатламларининг ҳарорати пастроқ бўлса, бу қатламларда пуфакчалар ичидаги буғ конденсацияланади. Босим тез камаяди, пуфакчалар пучкайиб қолади. Пуфакчалар шунчалик тез пучкайиб қоладими, уларнинг деворлари бир-бирига урилиб портлашга ўхшаган овоз чиқаради. Бундай микропортлашлар биргаликда ўзига хос шовқин ҳосил қилади¹. Суюқлик етарли даражада

¹ Шовқин пуфакларнинг пучкайиб қолишидан ташқари пуфакларнинг идиш тубидан ва деворларидан ажрალიшида ҳам чиқади.

исигач, пуфакчалар пучкаймаздан суюклик юзига қалкиб чиқади. Суюклик қайнай бошлайди. Плита устида турган чойнакни диққат билан кузатинг. Қайнаш олдидан чойнак деярли шовқинламай қолади.



31-расм



32-расм

Тўйинган буғ босимининг ҳароратга боғлиқ бўлиши суюкликнинг қайнаш ҳарорати суюклик юзига берилаётган босимга нима сабабдан боғлиқ

бўлишини тушунтиришга имкон беради. Пуфакчанинг ичидаги тўйинган буғ босими суюкликдаги босимдан бир оз ортик бўлганда пуфакча катталаша олади; суюкликдаги босим ҳавонинг суюклик юзига бераётган босими (ташқи босим) билан суюклик устуниг гидроstatic босими йиғиндисига тенг.

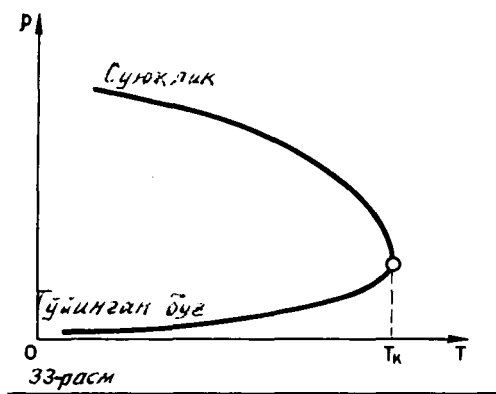
Пуфакчалар ичидаги тўйинган буғ босими суюкликдаги босимга тенглашадиган ҳароратда суюклик қайнай бошлайди.

Ташқи босим қанчалик катта бўлса, суюклик шунчалик юқори ҳароратда қайнайди. Масалан, ичидаги босим $1,6 \cdot 10^6$ Па бўлган буғ козонида сув 200°C ҳароратда ҳам қайнамайди. Медицина муассасаларида бўладиган герметик ёпиқ идишларда — автоклавларда (31-расм) ҳам сув юқори босим шароитида қайнатилади. Шунинг учун автоклавларда сувнинг қайнаш ҳарорати 100°C дан анча юқори бўлади. Автоклавлар хирургия асбобларини, боғлаш материаллари ва шу кабиларни зарарсизлантириш (стерилизация қилиш) учун қўлланилади.

Аксинча, ташқи босимни камайтурсак, қайнаш ҳарорати паст бўлади. Колба ичидан ҳаво ва сув буғларини насос билан сўриб олиб, сувни уй ҳароратида қайнатиш мумкин (32-расм). Токка кўтарилган сари атмосфера босими камаяди, шунинг учун қайнаш ҳарорати пасаяди. 7134 м баландликда (Помир тоғидаги Ленин чўққисид) босим тахминан $4 \cdot 10^4$ Па (300 мм сим. уст.) га тенг бўлади. Бу ерда сув тахминан 70°C да қайнайди. Бу шароитда гўшт пишириб бўлмайди.

Суюкликларнинг турли ҳароратда қайнашининг сабаби уларнинг тўйинган буғлари босими турлича бўлишидандир. Тўйинган буғнинг босими қанчалик катта бўлса, мазкур суюкликнинг қайнаш ҳарорати шунчалик паст бўлади, чунки тўйинган буғнинг босими паст ҳароратларда атмосфера босимига тенг бўлиб қолади. Масалан, 100°C да сувнинг тўйинган буғлари босими 101 325 Па (760 мм сим. уст.) га тенг, симоб буғларининг босими эса атиги 117 Па (0,88 мм сим. уст.) га тенг. Нормал атмосфера босими шароитида симоб 357°C да қайнайди.

Критик ҳарорат. Суюкликнинг ҳарорати кўтарилганда тўйин-



ган буғ босими ортади ва шу билан бир вақтда буғнинг зичлиги ҳам ортади. Ўз буғи билан мувозанатда турган суюқликнинг зичлиги, аксинча, иситилганда камаяди, чунки иситилганда суюқлик кенгайди. Агар суюқлик ва унинг буғ зичлигининг ҳароратга боғланиш эгри чизикларини айтиб бир расмга чизсак, суюқликка тегишли эгри чизик пастга, буғга тегишли чизик

юқорига қараб кетади (33- расм).

Критик ҳарорат деб аталадиган маълум бир ҳароратда иккала эгри чизик қўшилиб кетади, яъни суюқликнинг зичлиги буғнинг зичлигига тенг бўлиб қолади.

Суюқлик билан унинг тўйинган буғининг физик хоссалари фарқи йўқоладиган ҳарорат критик ҳарорат деб аталади. Критик ҳарорат тушунчасини Д. И. Менделеев киритган.

Критик ҳароратда тўйинган буғ зичлиги ва босими энг катта бўлади, ўзининг буғи билан мувозанатда турган суюқликнинг зичлиги эса энг кичик бўлади. Биринчи форзададаги жадвалда баъзи моддаларнинг критик ҳароратларининг қийматлари берилган.

Критик ҳароратнинг махсус аҳамияти шундан иборатки, *критик ҳароратдан юқори ҳароратда ҳеч қандай* босимда газни суюқликка айлантириб бўлмайди. Ҳарорати критик ҳароратдан паст бўлган газ тўйинмаган буғ бўлади.

- !
1. Нима учун босим ортгани сари қайнаш ҳарорати кўтарила боради?
 2. Нима сабабдан қайнаш учун пуфакчалар ичидаги ҳавонинг босимининг ортиши эмас, балки пуфакчалар ичидаги тўйинган буғ босимининг ортиши муҳим?
 3. Идишни совитиш йўли билан суюқликни қандай қилиб қайнатиш мумкин? (Бу оддий савол эмас).

17- §. ҲАВОНИНГ НАМЛИГИ

Сув Ер қурраси сиртининг 70,8 % қисмини эгаллайди. Тирик мавжудотда 50 дан 99,7 % гача сув бўлади. Бадий қилиб айтганда, тирик мавжудот—жонли сувдир. Атмосферала томчи, қор кристаллари ва сув буғи кўринишида 13—15 минг км³ га яқин сув бор. Атмосферадаги сув буғи Ернинг об-ҳавоси ва иклимига таъсир кўрсатади.

Атмосферадаги сув буғи. Океан, денгиз, қўл ва дарёларнинг юзи ниҳоятда катта бўлишига қарамай, ҳаводаги сув буғи

тўйинган буғ эмас. Ҳавонинг кўчиб юриши окибатида маълум пайтларда сайёрамизнинг баъзи жойларида сувнинг буғланиши конденсацияланишдан устунлик қилади, бошқа жойларида эса, аксинча, конденсацияланиш буғланишдан устунлик қилади. Бирок амалда ҳавода ҳамиша бирор микдорда сув буғи бўлади.

Ҳаводаги сув буғининг миқдори, яъни ҳавонинг намлиги бир катор катталиклар билан ифодаланади.

Сув буғининг парциал босими. Атмосфера ҳавоси турли хил газлар билан сув буғининг аралашмасидир. Ҳавода турган жисмларга ҳаво кўрсатадиган умумий босимга бу газлардан ҳар бири ўз улушини қўшади. **Бошқа газлар бўлмаган ҳолда фақат сув буғи бериши мумкин бўлган босим сув буғининг парциал босими деб аталади.** Сув буғининг парциал босими ҳаво намлигининг кўрсаткичларидан бири сифатида қабул қилинади. Парциал босим ҳам босим бирликларида, яъни паскаль ёки симоб устунининг миллиметрларида ифодаланади.

Нисбий намлик. Сув буғининг парциал босимига қараб шу шароитда сув буғи тўйиниш даражасидан қанчалик узоқ эканлиги тўғрисида бирор фикр айтиб бўлмайди. Сувнинг буғланиш интенсивлиги ва тирик организмларнинг намлик йўқотиши сув буғининг худди шу тўйиниш даражасидан қанчалик узоқ эканлигига боғлиқ. Мана шунинг учун ҳам маълум бир ҳароратда сув буғи тўйиниш даражасидан қанчалик узоқ эканлигини кўрсатадиган катталик киритилади. Бу катталик **нисбий намлик** деб аталади.

Маълум бир ҳароратда ҳавода бўлган сув буғининг парциал босими p нинг шу ҳароратдаги тўйинган буғнинг босими p_0 га нисбатининг процент ҳисобида олинган қиймати ҳавонинг нисбий намлиги φ деб аталади:

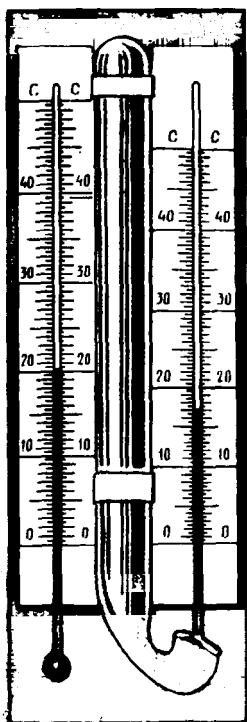
$$\varphi = \frac{p}{p_0} 100\% . \quad (4.2)$$

Психрометр. Ҳавонинг намлиги махсус асбоблар билан ўлчанади. Биз улардан бири бўлган **психрометр**¹ билан таништирамиз.

Психрометр икки термометрдан тузилган (34-расм). Улардан бирининг идиши (резервуари) курук туради, бу термометр ҳавонинг ҳароратини кўрсатади. Иккинчисининг идишига бир учи сувга ботириб қўйилган мато ўралган. Сув буғланади, бунинг натижасида термометр совийди. Нисбий намлик қанча катта бўлса, буғланиш шунчалик секин боради ва ҳўл мато ўралган термометр шунчалик юкори ҳароратни кўрсатади.

Нисбий намлик 100 % га тенг бўлганда сув умуман буғланмайди ва иккала термометр бир хил ҳароратни кўрсатади. Иккала

¹ Грекча «психрос» -- совуқ деган сўздан олинган.



35-расм

Бунда кўп миқдорда иссиқлик чиқади. Сув буғланганда эса, аксинча, иссиқлик ютилади.

Тўқимачилик, шакарпазлик ва бошқа ишлаб чиқариш корхона-ларидан ишлаб чиқариш жараёни нормал бориши учун ҳам ҳавонинг намлиги маълум бир меъёрда бўлиши керак.

Санъат асарлари ва китобларни сақлашда ҳам ҳавонинг намлигини маълум даражада тутиб туриш талаб этилади. Шунинг учун музейларда деворга психрометрлар осиб қўйилади.

Атмосферадаги сув буғининг абсолют миқдорини эмас, балки нисбий миқдорини билиш муҳимдир. Нисбий намлик психрометр билан ўлчанади.

- ! 1. Ҳавонинг нисбий намлигига таъриф беринг. 2. Психрометр термометрларининг кўрсатишлари фарқи фақат нисбий намлик билан аниқланадими ёки бундан ташқари асбобнинг тузилишига ҳам боғлиқми?

МАСАЛА ЕЧИШ НАМУНАЛАРИ

Масала ечишда тўйинган буғнинг босими ва зичлиги ҳажмга боғлиқ бўлмай, фақат ҳароратга боғлиқ эканини назарда тутинг. Критик ҳароратдан узокда идеал газ ҳолатининг тенгламасини тўйинган буғни тавсифлашга тақрибан татбиқ этиш мумкин. Бирок

тўйинган буғни сикқанда ёки иситганда унинг массаси ўзгармай қолмайди.

1. Ҳажми $V_1 = 0,5 \text{ м}^3$ бўлган ёпиқ идишда массаси $m = 0,5 \text{ кг}$ бўлган сув бор. Идиш $t = 147^\circ\text{C}$ ҳароратгача иситилди. Идиш ичида фақат тўйинган буғ бўлиши учун идишнинг ҳажмини қанчага ўзгартириш керак? Тўйинган буғнинг $t = 147^\circ\text{C}$ ҳароратдаги босими $p_0 = 4,7 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

Ечилиши. Тўйинган буғ p_0 босимда

$$V = \frac{mRT}{p_0 M} = 0,2 \text{ м}^3$$

ҳажм эгаллайди, бу ерда $M = 0,018 \text{ кг/моль}$ — сувнинг моляр масса-си. Идишнинг V_1 ҳажми V дан катта, шунинг учун буғ тўйинган буғ эмас. Буғ тўйинган буғ бўлиши учун идишнинг ҳажмини ΔV миқдорга камайтириш керак.

$$\Delta V = V_1 - V = V_1 - \frac{mRT}{p_0 M} = 0,3 \text{ м}^3.$$

2. Ёпиқ идишдаги ҳавонинг нисбий намлиги $t = 5^\circ\text{C}$ ҳароратда $\varphi_1 = 84\%$ бўлиб, $t_2 = 22^\circ\text{C}$ ҳароратда $\varphi_2 = 30\%$. Тўйинган сув буғнинг t_0 ҳароратдаги босими t_1 ҳароратдаги босимдан неча марта ортиқ?

Ечилиши. Идишдаги сув буғнинг $T_1 = 278 \text{ К}$ даги босими $p_1 = \varphi_1 p_{01}$, бу ерда p_{01} — тўйинган буғнинг T_1 ҳароратдаги босими. $T_2 = 295 \text{ К}$ ҳароратдаги босим

$$p_2 = \varphi_2 p_{02}$$

бўлади. Ҳажм ўзгармагани учун, Шарль қонуни а асосан,

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}.$$

Бундан

$$\frac{p_{02}}{p_{01}} = \frac{\varphi_1 T_2}{\varphi_2 T_1} \approx 3.$$

4-МАШҚ

1. *U*-симон шаклда ишланган ёпиқ найда сув бўлиб, сувнинг иккала тирсақда-ги сатҳлари баландликлари турлича. Сув устида тўйинган буғдан (сув буғидан) ташқари ҳаво ҳам бор деб айтиш мумкин?

2. Агар сув турган идиш чуқур шахта тубига туширилса, сувнинг қайнаш ҳарорати ортадими ёки камайдими?

3. Атмосфера босими шароитида қайнаётган сувда сув юзига томон кўтарилаётган пуфакчалардаги буғнинг зичлиги нимага тенг?

4. Ташқарида кузги совуқ ёмғир шивалаб ёғмоқда Хонага янги ювилган кир осиб қўйилган. Агар дераза дарчаси очиб қўйилса, кир тезроқ қурийдими?

* 5. Сўрувчи насос совуқ сувни 10,3 м баландликка кўтаради. Агар насоснинг поршени жуда секин силжиса, бу насос 100°C да қайнаб турган сувни қанча баландликка кўтаради?

6. Ҳажми $V=120\text{ м}^3$ бўлган хона ичидаги ҳавонинг ҳарорати $t=15^\circ\text{C}$ бўлганда нисбий намлик $\varphi=60\%$ бўлган. Хонанинг ҳавосидаги сув буғларининг массасини аниқланг. Тўйинган сув буғларининг $t=15^\circ\text{C}$ даги босими $p_0=12,8$ мм сим. уст. га тенг.

* 7. Ҳарорат $t=20^\circ\text{C}$ бўлганда хонада нисбий намлик $\varphi_1=20\%$ га тенг. Намлик $\varphi_2=50\%$ га етказиш учун бу хона ичида қандай массали сувни буғлантириш керак? Хонанинг ҳажми $V=40\text{ м}^3$ бўлиб, тўйинган сув буғининг $t=20^\circ\text{C}$ ҳароратдаги зичлиги $\rho=1,73 \cdot 10^{-2}\text{ кг/м}^3$.

IV БОБНИНГ ҚИСҚАЧА ЯКУНЛАРИ¹

1. Суюқлик билан унинг устида турган буғ ўртасида динамик мувозанат бўлиши мумкин, бу ҳолда маълум бир вақт ичида суюқликдан чиқиб кетаётган молекулалар сони ўша вақт ичида буғдан суюқликка қайтиб тушаётган молекулалар сонига тенг бўлади. Ўзининг суюқлиги билан мувозанатда бўлган буғ тўйинган буғ деб аталади. Тўйинган буғнинг босими ҳажмга боғлиқ бўлмай, фақат ҳароратга боғлиқ.

2. Пуфакчалар ичидаги тўйинган буғнинг босими суюқликдаги босимга тенглашган ҳароратда суюқлик қайнайди. Ташқи босим қанчалик катта бўлса, суюқлик шунчалик юкори ҳароратда қайнайди.

3. Ҳарорат кўтарилганда тўйинган буғнинг зичлиги ортади, суюқликнинг зичлиги эса камаяди. Критик ҳарорат деб аталадиган ҳароратда суюқлик билан унинг тўйинган буғининг физик хоссаларида фарқ қолмайди. Уларнинг зичликлари бир хил бўлади.

4. Атмосфера ҳавоси турли хил газлар билан сув буғининг аралашмасидан иборат. Ҳаводаги сув буғининг миқдори — ҳавонинг намлиги бир қатор катталиклар билан ифодаланadi. Бошқа газлар бўлмаган ҳолда фақат сув буғи бериши мумкин бўлган босим сув буғининг парциал босими деб аталади. Тайинли бир ҳароратли ҳавода бўлган сув буғининг парциал босимининг шу ҳароратдаги тўйинган буғ босимига нисбатининг процент ҳисобида олинган киймати ҳавонинг нисбий намлиги деб аталади. Намликни билиш об-ҳавони олдиндан айтишда метеорологияда катта аҳамиятга эга.

¹ I боб ва ундан кейинги бобларда тавсия этилган топшириқларни бажаринг. Муҳим хулосалар сони тўртта атрофида бўлади.

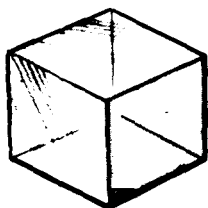
ҚАТТИҚ ЖИСМЛАР

Биз қаттиқ жисмнинг — Ер шарининг сиртида, қаттиқ жисмлардан ясалган иншоотларда — уйларда яшаймиз. Бизнинг танамиз гарчи тахминан 65 % сувдан иборат бўлса ҳам (мияда — 80 % сув) қаттиқ жисмдир. Меҳнат қуроллари, машиналар ҳам қаттиқ жисмлардан ясалган. Қаттиқ жисмларнинг хоссаларини билиш ҳаётий заруратдир

18-§. КРИСТАЛЛ ЖИСМЛАР

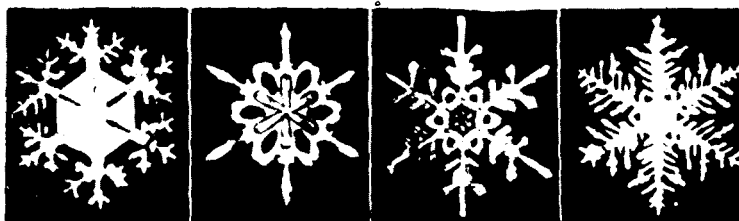
Қаттиқ жисмлар суюқликларга ўхшаб, ҳажминигина эмас, шаклини ҳам йўқотмайди. Қаттиқ жисмлар асосан кристалл ҳолатда бўлади. Бу нима дегани?

Кристаллар — атом ёки молекулалари фазода аниқ тартибли вазиятларни эгаллайдиган қаттиқ жисмлардир (қ. 5-§), шунинг учун кристаллар ясси сиртга эга бўлади. Масалан, оддий ош тузи донасининг ёқлари текис бўлиб, улар ўзаро тўғри бурчак ҳосил қилади (35-расм). Бунини лупа орқали ош тузи донасига қараб пайқаш мумкин. Қор учқунининг шакли нақадар мунтазам эканини айтмайсизми! Унда ҳам кристалл қаттиқ жисм бўлмиш музнинг геометрик мунтазам ички тузилиши ўз ифодасини топган (36-расм).

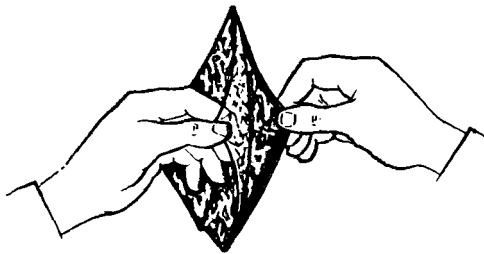


35-расм

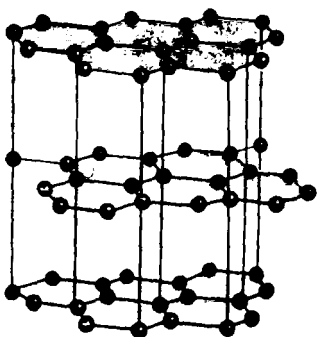
Кристаллар анизотропияси. Лекин кристалл ташқи шаклининг мунтазамлиги унинг тартибли тузилишининг бирдан-бир ва энг асосий натижаси эмас. Энг асосийси шундаки, *кристаллнинг физик хоссалари унда танлаб олинган йўналишга боғлиқ.* Аввало механик мустаҳкамликнинг турли йўналишларда тур-



36-расм



37-расм



38-расм



39-расм

лича эканлиги кўзга ташланади. Масалан, слюда парчаси бир йўналишда юпқа пластинкаларга осонгина ажралади (37-расм). Лекин уни пластинкаларга перпендикуляр йўналишда ажратиш анча қийин. Графит кристалли ҳам маълум бир йўналишда осонгина қатламларга ажралади. Сиз қалам билан ёзганингизда графит муттасил равишда қатламларга ажралади ва юпқа графит қатламлари қоғозда қолади. Чунки графитнинг кристалл панжараси қатлам-қатлам структуралidir. Қатламлар углерод атомларидан иборат қатор параллел ясси тўрлардан ҳосил бўлган (38-расм). Атомлар мунтазам олтибурчакларнинг учларида жойлашган. Қат-

ламлар оралиғи қиёсан анча олис: олтибурчак томонининг узунлигидан деярли икки марта катта. Шунинг учун қатламлар орасидаги боғланиш уларнинг ичидаги боғланишлардан кучсизроқ.

Кўп кристалллар иссиқлик ва электр токини турли йўналишларда турлича ўтказади. Кристаллларнинг оптик хоссалари ҳам кристаллда олинган йўналишга боғлиқ. Масалан, кварц кристалли унга тушаётган нурларнинг йўналишига қараб ёруғликни турлича синдиради.

Кристаллнинг физик хоссаларининг унинг ичида олинган йўналишларга боғлиқлиги анизотропия¹ деб аталади. Кристалл жисмлар ҳаммаси анизотроп жисмлардир.

Монокристаллар ва поликристаллар. Металлар кристалл тузилишига эга. Ҳозирги вақтда меҳнат қуроқлари, турли машина ва механизмлар яшаш учун айни металлар кўпроқ ишлатилади.

Агар каттароқ металл парчаси олинса, биринчи қарашда унинг кристалл тузилиши парчанинг на ташқи кўринишида, на

¹ Бир хил эмас деган маънони билдирувчи грекча «анизос» ва йўналиш сўзини билдирувчи «тропос» сўзларидан келиб чиққан.

физик хоссаларида намоён бўлмайди. Одатдаги ҳолатда металлларнинг анизотроплиги билинмайди.

Бу ерда гап шундаки, одатда металл бир-бири билан жипслашиб кетган ғоят кўп майда кристаллчалардан иборат бўлади. Кристаллчаларни, айниқса металлнинг янги синган жойидаги кристаллчаларни микроскоп ёки лупа орқали қараб кўриш қийин эмас (39-расм). Ҳар бир кристаллчанинг хоссалари турли йўналишлар бўйича турличадир, лекин кристаллчалар бир-бирига нисбатан тартибсиз жойлашган. Натижада айрим кристаллчалар ҳажмидан анча катта бўлган ҳажмда металл ичида олинган йўналишларнинг ҳаммасининг аҳамияти бир хил ва металлларнинг хоссалари барча йўналишлар бўйича бир хил бўлади.

Жуда кўп майда кристаллчалардан тузилган қаттиқ жисм поликристалл деб аталади. Якка-якка кристалллар монокристалл деб аталади.

Жуда эҳтиётлик билан иш кўриб, ўлчамлари катта бўлган металл кристалл, яъни монокристалл ҳосил қилиш мумкин. Одатдаги шаронтларда поликристалл жисм эндигина ўса бошлаган кўп кристаллларнинг бир-бирига тегиб бир бутун жисмга айлангунча ўсиши натижасида ҳосил бўлади.

Поликристалл жисмлар жумласига фақат металларгина кирмайди. Масалан, бир чакмоқ қанд ҳам поликристалл тузилиш (структура)га эга.

Кристалл жисмларнинг аксарияти поликристалллардир, чунки улар ўсиб бир-бирига кириб кетган кристалллар тўпламидан иборат. Якка-якка кристалллар — монокристалллар мунтазам геометрик шаклга эга ва турли йўналишлар бўйича уларнинг хоссалари турличадир (анизотропия).

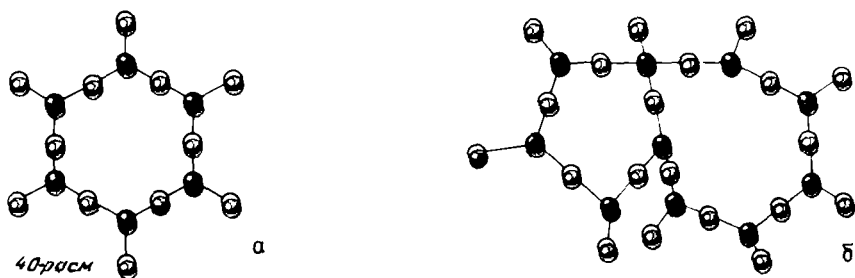
- ?
1. Ҳамма кристалл жисмлар ҳам анизотроп бўладими? 2. Ғоҷ анизотропдир. У кристалл жисмлар жумласига кирадими? 3. Китобда ҳали тилга олинмаган монокристалл ва поликристалл жисмларга мисоллар келтиринг.

19-§. АМОРФ ЖИСМЛАР

Қаттиқ жисмларнинг ҳаммаси ҳам кристалл бўлавермайди. Кўплаб аморф¹ жисмлар мавжуд. Улар кристалллардан нимаси билан фарқ қилади?

Аморф жисмларнинг атомлари катъий тартиб билан жойлашган эмас. Аморф жисмларда фақат кўшни атомларгина деярли бир тартибда жойлашади. Кристаллардаги каби структуранинг

¹ Шакл маъносини билдирувчи грекча «морфе» ва инкор этувчи «а» юкламадан келиб чиққан.



айни бир элементи ҳамма йўналишлар бўйлаб қатъий такрорланиши аморф жисмларда кузатилмайди.

Кўп ҳолларда айна бир модда кристалл ҳолатда ҳам, аморф ҳолатда ҳам бўла олади. Масалан, SiO_2 кварц кристалл ҳолатида ҳам, аморф ҳолатда ҳам учрайди (қумтупрок). Кварцнинг кристалл шаклини мунтазам олтибурчаклардан тузилган панжара кўринишида схематик тасаввур этиш мумкин (40, а-расм). Кварцнинг аморф структураси ҳам панжара кўринишида бўлади-ю, лекин шакли мунтазам эмас. Унда олтибурчаклар билан бирга бешбурчаклар ва еттибурчаклар ҳам учрайди (40, б-расм).

Аморф жисмларнинг хоссалари. Ҳамма аморф жисмлар изотропдир, яъни уларнинг физик хоссалари ҳамма йўналишлар бўйича бир хил бўлади. Аморф жисмлар жумласига шиша, кўпчилик пластмассалар, смола, канифоль, обакиданон ва бошқалар кирadi.

Ташки таъсир остида аморф жисмлар айна бир вақтда ҳам қаттиқ жисмлардек эластик, ҳам суюқликлардек оқувчан бўлади. Қисқа вақтли таъсир (зарб) остида аморф жисм ўзини худди қаттиқ жисмдек тутadi, қаттиқ зарбдан у парчаланиб кетади. Лекин кучлар узок вақт таъсир этганида аморф жисмлар оқади. Агар сабр қилсангиз буни ўзингиз кўриб ишонишингиз мумкин. Қаттиқ сирт юзида ётган смола парчасини кузатинг. Аста-секин смола сирт юзида ёйилади, ҳарорат канча юқори бўлса, смола, шунчалик тез ёйилади.

Аморф жисмларнинг атом ёки молекулалари, суюқлик молекулаларига ўхшаб, маълум «ўтроқ умр» вақтига — мувозанат вазияти атрофида тебраниш вақтига эга. Лекин аморф жисмларда бу вақт суюқлик молекулалариникига нисбатан жуда қатта. Масалан, мумнинг $t=20^\circ\text{C}$ даги «ўтроқ умр» 0,1 с. Бу жиҳатдан аморф жисмлар кристалл жисмларга яқин, чунки атомлар бир мувозанат вазиятидан бошқасига ахён-ахён ўтади.

Паст ҳароратларда аморф жисмларнинг хоссалари қаттиқ жисмларникига ўхшаб кетади. Бу ҳолда улар деярли окмайди, лекин ҳарорат кўтарилгани сари аморф жисмлар аста-секин юмшаб, уларнинг хоссалари борган сайин суюқликларнинг хоссаларига яқинлаша боради. Чунки ҳарорат кўтарила бориши

билан атомлар бир мувозанат вазиятдан бошқасига тез-тез сакраб ўтадиган бўла боради. Аморф жисмлар кристалл жисмлардан фарқли ўларок, *аниқ эриш ҳароратига эга эмас.*

Қаттиқ жисм физикаси. Инсоният қаттиқ жисмларни азалдан ишлатиб келади ва келгусида ҳам ишлатаверади. Агар илгарилари қаттиқ жисм физикаси бевосита тажрибага асосланган технология орқасидан етиб улгуролмай келган бўлса, эндиликда аҳвол ўзгарди. Назарий тадқиқотлар натижасида хоссалари мутлақо одатдан ташқари бўлган қаттиқ жисмлар бунёд этилдики, бу жисмларни «синаш ва хато қилиш» усули билан яратиш бўлмас эди. Кейинчалик ўрганиладиган транзисторлар каби қурилмаларнинг яратилиши қаттиқ жисмлар структурасини тушуниш бутун радиотехникада катта-катта ўзгаришлар қилишга олиб келганининг ёрқин мисолидир.

Механик хоссалари, магнит хоссалари, электр ва бошқа хоссалари олдиндан маълум бўлган материаллар яратиш замонавий қаттиқ жисмлар физикасининг асосий йўналишларидан биридир. Ҳозирги вақтда дунёда бор физикларнинг тахминан ярми қаттиқ жисм физикаси соҳасида ишлайди.

Аморф жисмлар кристалл қаттиқ жисмлар билан суюқликлар орасида туради. Уларнинг атомлари ёки молекулалари нисбатан тартиб билан жойлашади. Қаттиқ жисмлар (кристалл ва аморф жисмлар) тузилиши (структураси)ни тушуниш керакли хоссали материаллар яратишга имкон беради.

1. Кристалл жисмлар аморф жисмлардан нимаси билан фарқ қиладди? 2. Аморф жисмларга мисоллар келтиринг. 3. Агар шиша аморф жисм бўлмай, кристалл бўлса, шиша пуфловчилар касби пайдо бўлармиди?

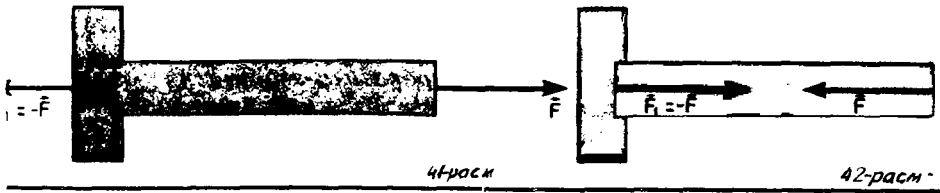
20-§. ҚАТТИҚ ЖИСМЛАР ДЕФОРМАЦИЯСИНИНГ ТУРЛАРИ

Қаттиқ жисмлар шаклини ўзгартирмайди, лекин қўйилган кучлар таъсири остида жисмнинг шакли ўзгаради, яъни деформация юз беради. Деформация нимага боғлиқ? Деформацияларнинг қандай турлари бор?

Қаттиқ жисмнинг деформацияси. *Жисмнинг шакли ёки ҳажми ўзгаришига деформация деб аталади.*

Резина арқоннинг учларидан ушлаб тортилса, арқоннинг қисмлари бир-бирига нисбатан кўчади, арқон деформацияланади — узунроқ ва ингичкароқ бўлиб қолади. Ҳамиша жисмнинг ҳар хил қисмлари куч таъсири остида турлича кўчганда деформация юз беради.

Кучларнинг таъсири тўхтатилгандан кейин резина арқон бошланғич ҳолатига қайтади. *Ташқи кучларнинг таъсири тўхтатилгандан кейин бутунлай йўқоладиган деформациялар эластик деформациялар деб аталади.* Резина шнурдан ташқари, масалан,



пружиналар, бир-бирига тўқнашган пўлат шарчалар ҳам эластик деформацияланади.

Энди бир парча пластилинни сиқинг. Сизнинг қўлингизда у осонгина ихтиёрий шаклни олади. Пластилиннинг дастлабки шакли ўз-ўзидан тикланмайди. Пластилин бошланғич шакли қандай бўлганини «эсида сақламайди». *Ташқи кучларнинг таъсири тўхтатилгандан кейин йўқолмайдиган деформациялар пластик деформациялар деб аталади.* Таъсир этувчи кучлар кичикроқ бўлиб, лекин узок таъсир қилса, лой, мум, кўрғошин пластик деформацияланади.

Чўзилиш (сиқилиш) деформацияси. Бир учи маҳкамлаб қўйилган бир жинсли стерженга унинг ўқи йўналишида ташқарига қаратиб куч қўйсақ (41-расм), стержень чўзилиш деформациясига учрайди. Чўзилиш деформацияси абсолют узайиш Δl ва нисбий узайиш ϵ билан характерланади:

$$\Delta l = l - l_0, \quad \epsilon = \frac{\Delta l}{l_0}.$$

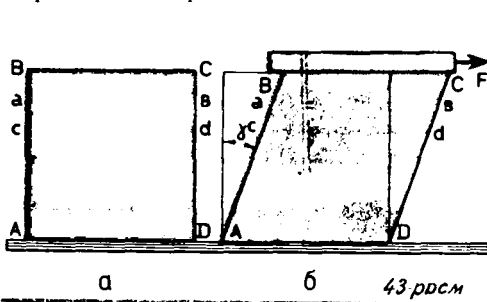
бу ерда l_0 — стерженнинг бошланғич узунлиги, l — охириги узунлиги.

Кўтариш қурилмаларидаги трос, арқон ва занжирлар, вагонлар орасидаги тортқилар ва шу кабилар чўзилиш деформациясига учрайди.

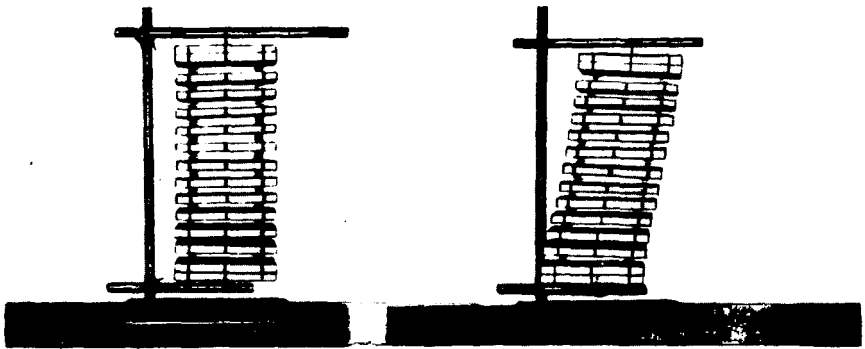
Чўзилиш жуда оз бўлганда ($\Delta l \ll l_0$) кўпчилик жисмлар эластик равишда деформацияланади.

Агар маҳкамлаб қўйилган стерженга унинг ўқи бўйлаб ичкарига қаратиб \vec{F} куч билан таъсир қилсақ (42-расм), стержень сиқилиш деформациясига учрайди. Бу ҳолда деформация манфий бўлади: $\epsilon < 0$.

Устун, колонна, девор, биноларнинг пойдевори ва бошқалар сиқилиш деформациясига учрайди. Сизнинг танангиз ёки унинг айрим қисмлари ҳам сиқилиши ёки чўзилиши мумкин.



Чўзилиш ёки сиқилишда жисм кўндаланг кесимининг юзи ўзгаради. Буни кўриш учун устига металл ҳалқа кийдирилган резина найни чўзамиз. Етарлича қаттиқ чўзилганда ҳалқа пахтага тушади. Сиқилганда, аксинча жисмнинг кўндаланг кесим юзи ортади.



44-а-расм

44-б-расм

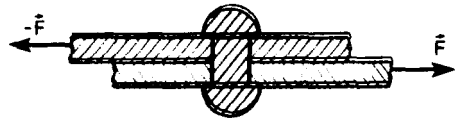
Силжиш деформацияси. Сиртига горизонтал ва вертикал тўғри чизиклар чизилган резина брусок олиб, уни стол устига маҳкамлар қўямиз (43-а-расм). Брусокнинг устига рейка бириктириб, бу рейкага горизонтал куч қўямиз (43-б-расм). Брусокнинг ab , cd ва ҳоказо қатламлари ўзаро параллеллигича қолганича силжийди, вертикал қатламлари эса текис ҳолича қолиб, γ бурчакка оғади. Жисмнинг қатламлари бир-бирига нисбатан силжийдиган ҳолдаги деформацияга силжиш деформацияси деб аталади.

Агар F куч икки марта орттирилса, γ бурчак ҳам икки марта ортади. Тажрибаларнинг кўрсатишича, эластик деформацияларда силжиш бурчаги γ қўйилган кучнинг модули F га тўғри пропорционал бўлади.

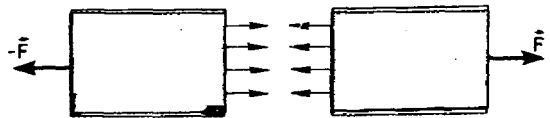
Силжиш деформациясининг бир-бирига пружиналар билан бириктирилган қатор параллел пластинкалардан иборат бўлган каттик жисм моделида яққол кўрсатиш мумкин (44,а-расм). Горизонтал куч жисмнинг ҳажмини ўзгартирмасдин пластинкаларни бир-бирига нисбатан силжити (44, б-расм). Силжиш деформациясида реал каттик жисмларнинг ҳажми ҳам ўзгармайди.

Хамма балкалар таянч жойларида, деталларни бириктириб турувчи парчин миҳлар (45-расм), болтлар ва ҳоказолар силжиш деформациясига учрайди. Катта бурчакка силжишда жисм бузилиши — кесилиб кетиши мумкин. Қайчи, искана, зубило ва арра тишлари жисмни кесиб тушади.

Эгилиш ва буралиш. Эгилиш ва буралиш деформацияларнинг мураккаброқ турлари ҳисобланади. Масалан, устига юк



45-расм



46-расм

қўйилган тўсин эгилиш деформациясига учрайди. Буралиш деформацияси болтларни бураб қотиришда, машиналарнинг валларини айлантиришда, пармани айлантиришда ва ҳоказоларда бўлади. Бу деформациялар бир жинсли бўлмаган чўзилиш ёки сиқилишга ва бир жинсли бўлмаган силжишга тааллуқли деформациялардир.

Қаттиқ жисмларнинг ҳамма деформациялари чўзилишга (сиқилишга) ва силжишга келтирилади. Эластик деформацияларда жисмнинг шакли ўз ҳолига келади, пластик деформацияларда шакл ўз ҳолига келмайди.

- ? 1. Китобда тилга олинмаган эластик ва пластик деформацияларга мисол келтиринг. 2. Чўзилиш ва силжиш деформацияларига мисоллар келтиринг. 3. Сизнинг бирор аъзонигизда силжиш деформацияси бўлиши мумкинми? 4. Нима учун жуда қисқа вақт давом этадиган таъсирларда пластик деформациялар юзага келмайди?

21-§. ҚАТТИҚ ЖИСМЛАРНИНГ МЕХАНИК ХОССАЛАРИ

Уй қурилган материалларнинг механик хоссаларини билмасдан туриб ҳам шу уйда истиқомат қилиш мумкин. Бирок ишончли уйлар, кўприклар, станоклар, турли-туман машиналар қуриш учун ишлатиладиган материалларнинг: бетон, пўлат, темир-бетон, ёғоч, пластмасса ва шунга ўхшашларнинг хоссаларини билиш керак.

Турли хил материалларнинг механик хоссалари тўғрисида тажрибадан маълумот олинади.

Чўзилиш диаграммаси. Қаттиқ жисмнинг механик хоссаларини чўзилиш деформациясини текшириш мисолида кўриб чиқамиз. Бирок бундан олдин деформацияланган жисмнинг ҳолатини ифодалайдиган катталиқ — *механик кучланиш* тушунчасини кiritамиз.

Деформацияланган жисмнинг ҳар қандай кесимида жисмнинг қисмларга ажралишига қаршилик қиладиган эластиклик кучлари таъсир этади (46-расм). Кучланиш деб, аниқроғи механик кучланиш деб эластиклик кучи модули F нинг жисмнинг кўндаланг кесими юзи S га нисбатига тенг миқдорга айтылади:

$$\sigma = \frac{F}{S}. \quad (5.1)$$

СИ да кучланиш бирлиги қилиб худди босимникидек $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$ олинади.

Стержень сиқилганда кучланиш газ ва суяқликлардаги босимга ўхшайди. Чўзилиш деформациясини текшириш учун стержень махсус мосламалар ёрдамида чўзилади, сўнгра унинг узайиши ва унда юзага келган кучланиш ўлчанади. Тажриба натижаларига қараб кучланиш σ нинг нисбий узайиш ϵ боғланиш графиги чизилади, бу чизиқ *чўзилиш диаграммаси* деб аталади (47-расм).

Гук қонуни. Тажрибанинг кўрсатишича, *кичик деформация-*

ларда кучланиш σ нисбий узайиш ϵ га тўғри пропорционал бўлади (Едиаграмманинг ОА қисми). Гук қонуни деб аталадиган бу боғланиш бундай ёзилади:

$$\sigma = E |\epsilon|. \quad (5.2)$$

(5.2) формулада ϵ нисбий узайишнинг модули олинган, чунки Гук қонуни чўзилиш деформацияси учун ҳам, $\epsilon < 0$ бўладиган сикилиш деформацияси учун ҳам бирдай ўринлидир.

Гук қонунининг ифодасида қатнашадиган пропорционаллик коэффициентини E эластиклик модели ёки Юнг модули деб аталади. Деформациялар кичик бўлганда σ кучланиш ва ϵ нисбий узайишни ўлчаб, Юнг модули (5.2) формуладан аниқланади.

Кўп ишлатиладиган материалларнинг кўпчилиги учун Юнг модули тажрибада аниқланган. Масалан, хром-никель пўлат учун $E = 2,1 \cdot 10^{11}$ Па, алюминий учун эса $E = 7 \cdot 10^{10}$ Па. E қанчалик катта бўлса, бошқа параметрлар (F , S , l_0) бир хил бўлганда стержень шунчалик кам деформацияланади. Юнг модули материалнинг эластик чўзилиш (сикилиш) деформациясига қаршилик кўрсатиш қобилиятини ифодалайди.

(5.2) формула шаклида ёзилган Гук қонунини осонгина IX синф физикасидан маълум бўлган кўринишга келтириш мумкин.

Дарҳақиқат (5.2) формулага $\sigma = \frac{F}{S}$ ва $\epsilon = \frac{|\Delta l|}{l_0}$ ифодаларни қўйсак,

$$\frac{F}{S} = E \frac{|\Delta l|}{l_0}$$

бўлади. Бундан

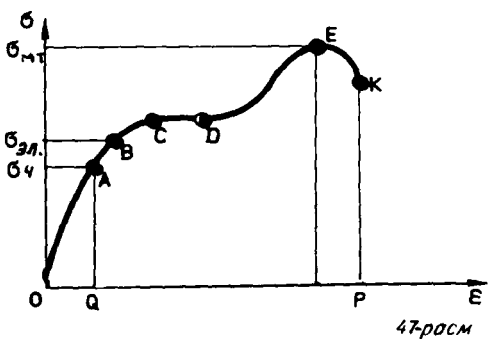
$$F = \frac{SE}{l_0} |\Delta l|. \quad (5.3)$$

$\frac{SE}{l_0} = k$ деб белгиласак,

$$F = k |\Delta l|. \quad (5.4)$$

Шундай қилиб, стерженнинг бикрлиги k Юнг модули билан стержень кўндаланг кесими юзининг кўпайтмасига тўғри пропорционал ва стерженнинг узунлигига тесқари пропорционал.

Пропорционаллик ва эластиклик чегаралари. Гук қонуни унча катта бўлмаган деформацияларда, бинобарин, бирор қийматдан катта бўлмаган кучланишларда тўғри бўлишини биз олдин айтиб ўтдик. Гук қонуни ҳали тўғри бўладиган ҳол-



даги энг катта кучланиш σ_n пропорционаллик чегараси деб аталади (47-рас.к.).

Агар куч янада орттира борилса, деформация чизикли бўлмай қолади, яъни кучланиш нисбий узайишга тўғри пропорционал бўлмай қолади. Шунга қарамасдан, чизикли бўлмаган кичикрок деформацияларда куч таъсири тўхтатилгандан сўнг жисмнинг шакли ва ўлчамлари ўз холига келади (диаграмманинг АВ қисми). *Ҳали сезиларли қолдиқ деформациялар пайдо бўлмайдиган ҳолдаги энг катта кучланиш $\sigma_{эл}$ эластик чегараси деб аталади* (нисбий қолдиқ деформация 0,1 % дан ортмайди). Эластиклик чегараси пропорционаллик чегарасидан процентнинг атиги юздан бир улушлари қадар ортик.

Мустаҳкамлик чегараси. Агар ташқи куч жисмдаги кучланиш эластиклик чегарасидан ортик бўладиган микдорда бўлса, у ҳолда куч таъсири тўхтатилгандан кейин намуна гарчи кискарса ҳам, олдинги ўлчамларини тиклай олмайди, деформацияланганча қолади.

Ташқи куч орттира борилгани сари деформация тобора тезрок ортади. *Кучланишнинг диаграммадаги С нуқтага мос келадиган бирор қийматида ташқи куч орттирилмаганда ҳам узайиш ортаверади. Бу ҳодиса материалнинг оқувчанлиги деб аталади (CD қисм).* Бу ҳолда диаграммада эгри чизик деярли горизонтал бўлиб кетади.

Кейин, деформация ортиши билан кучланишлар эгри чизиги бир оз кўтарила бориб, *E* нуқтада максимумга эришади. Сўнгра кучланиш тез камаяди ва намуна бузилади (графикдаги *K* нуқта). Шундай қилиб, *кучланиш мустаҳкамлик чегараси деб аталадиган энг катта $\sigma_{муст}$ қийматга етгандан кейин намуна узилади* (ташқи куч орттирилмаса ҳам намуна узидгунча чўзилади). Бу катталик намунанинг материалига ва унга қандай ишлов берилганлигига боғлиқ.

Агар иншоот ва конструкцияни ишлатишда пайдо бўладиган кучланишлар мустаҳкамлик чегарасидан бир неча марта кичик бўлса, иншоот ёки конструкция ишончли бўлади.

Каттик жисмнинг чўзилишини (сиқилишини) тадқиқ этиш Гук қонунидаги бикрлик коэффициенти нимага боғлиқ эканини аниқлашга имкон беради. Экспериментал равишда олинган чўзилиш диаграммаси материалнинг механик хоссалари тўғрисида анча тўлиқ маълумот беради ва унинг мустаҳкамлигини баҳолашга имкон беради.

- ! 1. Каттик жисмдаги кучланиш билан суяқликдаги босим ўртасида қандай ўхшашлик ва қандай фарқ бор? 2. Гук қонунидаги бикрлик коэффициенти нимага боғлиқ? 3. Мустаҳкамлик чегараси нима?

22-§. ПЛАСТИКЛИК ВА МҮРТЛИК

Кўпинча биз буюмларни ёки материалларни эластик, пластик ёки мўрт деймиз. Бунда нимани назарда тутамиз?

Эластиклик. Ҳар қандай материалдан ясалган жисм кичик деформацияларда ўзини эластик жисм каби тутлади. Ташқи таъсир олиб ташланганда жисмнинг шакли ва ўлчамлари аслига келади. Айти вақтда деярли ҳамма жисмлар озми-кўпми пластик равишда деформацияланиши мумкин.

Материалларнинг механик хоссалари турличадир. Резина ёки пўлат каби материаллар қиёсан катта кучланиш ва деформацияларда эластик бўлади. Масалан, Гук қонуни пўлат учун ϵ нинг 1% га тенг бўлган қийматларига қадар бажарилади, резина учун эса ϵ нинг бир неча ўн процентга тенг бўлган қийматларида ҳам бу қонун ўринли бўлаверади. Шунинг учун бундай материаллар *эластик* материаллар деб аталади.

Пластиклик. Ҳўл соз тупрок, пластилин ёки қўрғошин эластик деформациялар соҳаси жуда кичик. *Арзимаган кучлар таъсирида ҳам пластик деформацияланадиган материаллар пластик материаллар деб аталади.*

Материалларни эластик ва пластик материаллар деб гуруҳларга ажратиш анча шартлидир. Ҳосил бўладиган кучланишларга қараб, айти бир материал ўзини эластик материал каби ҳам, пластик материал каби ҳам тутиши мумкин. Масалан, кучланишлар жуда катта бўлганда пўлатнинг пластиклик хоссалари намоён бўлади. Жуда катта куч ҳосил қиладиган пресслар ёрдамида пўлат буюмларни штамповка қилишда пўлатнинг шу хоссасидан фойдаланилади.

Совуқ пўлат ёки темирни болғалаш жуда қийин. Лекин улар каттиқ қиздирилса, болғалаб уларни ҳар қандай шаклга келтириш осон. Уй ҳарорати шароитида пластик бўладиган қўрғошин — 100°C дан паст ҳароратга қадар совитилса, жуда эластик бўлиб қолади.

Мўртлик. Қаттиқ жисмларнинг *мўртлик* деб аталадиган хоссаси амалда катта аҳамиятга эга. *Агар материал унча катта бўлмаган деформацияларда емирилса, у мўрт материал деб аталади.* Шиша ва чинни буюмлар мўрт бўлади; улар қўлдан полга тушиб кетса ҳам чил-чил бўлиб синади. Чўян, мрамар, қаҳрабо ҳам анча мўрт бўлади ва аксинча, пўлат, мис, қўрғошин мўрт эмас.

Ҳамма мўрт материалларда деформация ортганда кучланиш жуда тез ортади, бундай материаллар жуда кичик деформациялардаёқ емирилади. Масалан, нисбий узайиш 0,45% бўлгандаёқ чўян узилади. Пўлатда эса $\epsilon = 0,45\%$ бўлганда деформация эластиклигича қолаверади, $\epsilon \approx 15\%$ бўлгандагина пўлат синади.

Мўрт материалларнинг амалда пластиклик хоссалари бўлмайди, деса бўлади.

Материалларнинг эластиклик, пластиклик ва мўртлик хоссаларининг озми-кўпми аниқроқ таърифлари берилди. Сиз энди кундалик турмушда кўп учраб турадиган бу сўзларнинг маъносини аниқроқ англаб олдингиз.

- ! 1. Эластик материаллар пластик материаллардан нимаси билан фарк қилади? 2. Мўртлик нима? Мўрт жисмларга мисоллар келтиринг.

МАСАЛА ЕЧИШ НАМУНАЛАРИ

Бу бобга доир бўлган масалаларда кучланиш тушунчаси (5.1 формула) ва Гук қонуни (5.2 ва 5.3 формулалар)дан фойдаланилади.

1. Диаметри $D = 2$ см, материалнинг Юнг модули $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па бўлган пўлат стержень $F = 3,14 \cdot 10^5$ Н куч билан сиқилганда, унинг нисбий қисқариши нимага тенг бўлади?

Ечилиши. Гукнинг (5.2) қонунига асосан,

$$|\epsilon| = \frac{|\Delta l|}{l_0} = \frac{F}{ES},$$

бу ерда $S = \frac{\pi D^2}{4}$ стерженнинг кўндаланг кесим юзи. Бинобарин

$$|\epsilon| = \frac{4F}{\pi D^2 E} = 0,005 \text{ ёки } |\epsilon| = 0,5\%.$$

2. Диаметри $D = 0,8$ мм бўлган жез симнинг узунлиги $L = 3,6$ м. $F = 25$ Н куч таъсири остида бу сим $\Delta l = 2$ мм га узайган. Жез учун Юнг модулини топинг.

Ечилиши. Юнг модули Гукнинг (5.3) қонунидан аниқланади:

$$E = \frac{Fl_0}{S \cdot |\Delta l|}.$$

Бу ерда $S = \frac{\pi D^2}{4}$ бўлгани учун $E = \frac{4Fl_0}{\pi D^2 \cdot |\Delta l|} \approx 9 \cdot 10^{10}$ Па.

5- МАШҚ

1. Плуг тракторга пўлат тортқи билан тиркаб қўйилган. Тортқи ясалган материалнинг йўл қўйиладиган кучланиши $\sigma = 20$ ГПа. Агар тупроқ плугнинг юришига $1,6 \cdot 10^6$ Н куч билан қаршилик кўрсатса, тортқининг кўндаланг кесим юзи қандай бўлиши керак?

2. Стерженга унинг ўқи бўйлаб таъсир этувчи куч стерженда $1,5 \cdot 10^8$ Па кучланиш ҳосил қиладиган бўлиши учун кучнинг модули нимага тенг бўлиши керак? Стерженнинг диаметри 0,4 см.

3. Баландлиги 20 м бўлган ғишт деворнинг асосида қандай кучланиш пайдо бўлади? Ғиштнинг зичлиги 1800 кг/м^3 . Деворнинг асосига терилган ғиштлар билан юқори қисмга терилган ғиштларнинг мустақамлиги бир хил бўлиши керакми?

4. Бир учидан эркин осиб қўйилган пўлат сим ўзининг оғирлик кучи таъсирида узилиб кетиши учун узунлиги энг камида қандай бўлиши керак? Пўлатнинг мустаҳкамлик чегараси $3,2 \cdot 10^8$ Па, зичлиги 7800 кг/м^3 .

5. Узунлиги 5 м ва кўндаланг кесимининг юзи $2,5 \text{ мм}^2$ бўлган сим 100 Н куч таъсирида 1 мм узайган. Симда ҳосил бўлган кучланишни ва симнинг Юнг модулини аниқланг.

6. Темир-бетон устун F куч билан сиқияпти. Бетоннинг E_6 Юнг модули темирнинг E_7 Юнг модулидан 10 марта кичик ва темирнинг кўндаланг кесим юзи бетоннинг кўндаланг кесим юзидан 20 марта кичик деб фараз қилиб, F кучнинг қандай қисми бетонга тушаётганини аниқланг.

У БОБНИНГ ҚИСҚАЧА ЯКУНЛАРИ¹

1. Каттик жисмлар аксарият кристалл ҳолатда бўлади. Кристаллар анизотропдирлар, яъни кристалларнинг физик хоссалари турли йўналишларда турлича бўлади.

2. Аморф жисмларда, кристаллардан фаркли ўларок, атомларнинг жойлашишида қатъий тартиб йўқ. Паст ҳароратларда аморф жисмларнинг хоссалари каттик жисмларникига ўхшайди, юқори ҳароратларда эса жуда ковушқоқ суюқликларникига ўхшайди.

3. Деформациялар кичик бўлганда куч таъсири тўхтатилгач деформациялар йўқолади. Жисмлар эластиклик хоссаларига эга бўлади. Эластик деформацияларда кучланиш, яъни эластиклик кучи модулининг кўндаланг кесим юзига нисбати Гук қонунига бўйсуннади:

$$\sigma = E |\epsilon|$$

бу ерда E — Юнг модули бўлиб, y модданинг эластиклик хоссаларини ифодалайди, $\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$ жисм ўлчамларининг нисбий ўзгариши.

4. Катта кучланиш ва деформацияларда колдик деформация бўлмаса, жисмлар эластик жисмлар деб аталади. Деформациялар кичик бўлганда ҳам пластик жисмлар ўз шаклини тикламайди.

¹ | ва бошқа бобларнинг якунига берилган изоҳга қаранг. Муҳим хулосалар сони тўртта атрофида.

ТЕРМОДИНАМИКА АСОСЛАРИ

Иссиқлик ҳодисаларни манометр ва термометр каби асбоблар қайд қиладиган катталиқлар (макроскопик параметрлар) воситасида тавсифлаш мумкин. Бу асбоблар алоҳида молекулаларнинг таъсирини қайд қилолмайди. Иссиқлик ҳодисаларининг жисмларнинг молекулалардан тузилган эканлиги эътиборга олинмайдиган назарияси термодинамика деб аталади. Бу бобда биз термодинамикани ўрганамиз.

23-§. ИЧКИ ЭНЕРГИЯ

Термодинамика энергиянинг сақланиш қонуни кашф этилгандан кейин, XIX асрнинг ўрталарида яратилди. Термодинамика *ички энергия* тушунчасига асосланади. Биз ўрганишни шу тушунчадан бошлаймиз. Даставвал термодинамика билан молекуляр-кинетик назария ўртасида қандай алоқа бор эканлиги тўғрисида сўз юритамиз.

Термодинамика ва статистик механика. Иссиқлик жараёнининг биринчи илмий назарияси молекуляр-кинетик назария эмас, балки термодинамика эди. У иш бажариш учун иссиқликдан фойдаланишнинг энг мақбул шароитларини ўрганишда юзага келди. Бу XIX асрнинг ўртасида, молекуляр-кинетик назария умум томонидан эътироф этилишидан анча олдин юз берди. Ҳозир фан ва техникада иссиқлик ҳодисаларини ўрганишда термодинамикадан ҳам, молекуляр-кинетик назариядан ҳам бирдай фойдаланилмоқда. Назарий физикада молекуляр-кинетик назария *статистик механика* деб аталади. Термодинамика ва статистик механика айни бир ҳодисани турли хил методлар билан ўрганиб, бир-бирини тўлдиради.

Термодинамиканинг асосий мазмуни энергиянинг табиатига оид бўлган иккита асосий қонундадир. Бу қонунлар тажрибада аниқланади. Бу қонунлар ички тузилишидан қатъи назар ҳамма моддалар учун тўғридир.

Статистик механика термодинамикага нисбатан чуқурроқ ва аниқроқ фандир, аммо шу билан бирга мураккаброқдир ҳам. Термодинамикадаги оддий муносабатлар етарли бўлмай қолганда статистика механикага мурожаат қилишади.

Молекуляр-кинетик назарияда ички энергиянинг талқини. XIX асрнинг ўртасига келганда макроскопик жисмлар механик энергия билан бирга ўша жисмларнинг ичида бўлган энергияга ҳам эга эканлиги исбот этилди. Бу *ички энергия* табиатда энергия айланишларининг балансига киради. Ички энергия кашф

этилгандан кейин энергиянинг сақланиш ва айланиш қонуни таърифланди. Ички энергия нима?

Муз устида сирпаниб кетаётган шайба ишқаланиш кучи таъсирида тўхтаганда унинг механик (кинетик) энергияси шунчаки йўқолмайди, балки муз ва шайбанинг тартибсиз ҳаракатланаётган молекулаларига узатилади. Ишқаланувчи сиртларнинг ғадир-будирликлари ҳаракат давомида деформацияланиб, молекулалар бетартиб ҳаракатининг интенсивлиги ортади. Иккала жисм исийдики, бу ҳол уларнинг ички энергияси ортганини билдиради.

Ички энергиянинг механик энергияга айланишидек тескари жараёни ҳам кузатиш қийин эмас. Агар оғзига тикин тикилган пробирка ичидаги сув иситилси, сувнинг ички энергияси орта бошлайди. Сув қайнайди, буғ босими шу қадар ортиб кетадики, тикин отилиб чиқиб кетади. Тикиннинг кинетик энергияси буғнинг ички энергияси ҳисобига ортади. Сув буғи кенгайганда иш бажариб, совийди. Бунда буғнинг ички энергияси камаяди.

Молекуляр-кинетик назария нуктаи назаридан **макроскопик жисмнинг ички энергияси барча молекула (ёки атом) ларнинг жисмнинг массалар марказига нисбатан қиладиган хаотик ҳаракатининг кинетик энергиялари билан барча молекулаларнинг бир-бири билан қиладиган ўзаро таъсирининг потенциал энергиялари йиғиндисига тенг (бунга молекулаларнинг бошқа жисм молекулалари билан қиладиган ўзаро таъсир энергияси кирмайди)**¹.

Макроскопик жисмларда молекулалар ниҳоятда кўп бўлгани сабабли жисмнинг ички энергиясини (ёки унинг ўзгаришини) айрим молекулаларининг ҳаракатини ва уларнинг бир-бирига нисбатан эгаллаган вазиятларини эътиборга олиб ҳисоблаб чиқариш амалда мумкин эмас. Шунинг учун жисмнинг ички энергиясининг ўртача қийматини (ёки унинг ўзгаришини) бево-сита ўлчаб топиш мумкин бўлган макроскопик параметрларга боғлиқ равишда аниқлашга ўрганиб олиш зарур.

Бир атомли идеал газнинг ички энергияси. Молекулалардан эмас балки алоҳида атомлардан тўзилган бир атомли газнинг хоссалари жуда содда. Гелий, неон, аргон ва шулар каби инерт газлар бир атомли газлар жумласидандир. Бир атомли идеал газнинг ички энергиясини ҳисоблаб топамиз.

Идеал газ молекулалари бир-бирига тўқнашган қисқа вақтлардан бошқа ҳолларда бир-бири билан ўзаро таъсирлашмайди. Шу сабабли уларнинг потенциал энергияси нолга тенг деб ҳисобланади. Идеал газнинг бутун ички энергияси унинг молекулаларининг иссиқлик ҳаракатининг кинетик энергиясидан иборат.

¹ Ички энергияга шунингдек, атом ва молекулалардаги зарраларнинг ҳаракат энергияси ва ўзаро таъсир энергияси киради. Ҳарорат унча кўп ўзгармаганда бу энергиянинг қиймати ўзгармайди.

Массаси m бўлган бир атомли идеал газнинг ички энергиясини ҳисоблаб топиш учун битта атомнинг ўртача кинетик энергияси $\bar{E} = \frac{3}{2} kT$ ни атомлар сони $N = \frac{m}{M} N_A$ га кўпайтириш керак. $kN_A = R$ эканлигини ҳисобга олиб, идеал газ ички энергиясининг қиймати U ни топамиз:

$$U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} RT. \quad (6.1)$$

Бир атомли идеал газнинг ички энергияси унинг абсолют ҳароратига тўғри пропорционал.

Ички энергия системасининг (газнинг) ҳажмига ва бошқа макроскопик параметрларига боғлиқ эмас. Маълум массали идеал газнинг ички энергияси унинг ҳарорати ўзгаргандагина ўзгаради:

$$\Delta U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} R \Delta T.$$

Агар газни массаси орттирилса, унинг ички энергияси ҳам ортади ($U \sim m$). Ички энергия газнинг турига, яъни газнинг моляр массасига боғлиқ $U \sim \frac{1}{M}$. Чунки моляр масса M қанча катта бўлса, маълум массали газда атомлар шунча оз бўлади.

Агар идеал газ бир атомли газниқидан кўра мураккаброк молекулалардан тузилган бўлса, унинг ҳам ички энергияси абсолют ҳароратга пропорционал, бироқ U билан T орасида пропорционаллик коэффициенти бошқача бўлади. Чунки мураккаб молекулалар илгариланма ҳаракат қилибгина қолмай, айланма ҳаракат ҳам қилади. Бундай газларнинг ички энергияси молекулаларнинг илгариланма ва айланма ҳаракатларининг энергиялари йиғиндисига тенг.

Ички энергиянинг макроскопик параметрларга боғлиқ бўлиши. Биз идеал газнинг ички энергияси фақат ҳароратга боғлиқ эканлигини аниқладик. Идеал газнинг ички энергияси газнинг ҳажмига боғлиқ эмас, чунки унинг молекулаларининг ўзаро таъсир потенциал энергияси нолга тенг деб ҳисобланади.

Реал газлар, суюқликлар ва каттик жисмларда молекулалар ўзаро таъсирининг ўртача потенциал энергияси нолга тенг эмас. Тўғри, газларда бу энергия ўртача кинетик энергиядан анча кам, бироқ суюқлик ва каттик жисмларда кинетик энергияга яқин бўлади.

Молекулалар ўзаро таъсирининг ўртача потенциал энергияси модданинг ҳажмига боғлиқ бўлади, чунки ҳажм ўзгарганда молекулалар орасидаги ўртача масофа ўзгаради. Бинобарин, термодинамикада ички энергия умумий ҳолда ҳарорат T билан бирга ҳажм V га ҳам боғлиқ.

Ҳарорат T , ҳажми V ва бошқа макроскопик параметрларнинг қийматлари жисмларнинг ҳолатини аниқ ифодалайди. Шунинг

учун бу параметрлар макроскопик жисмларнинг ички энергиясини ҳам аниқлайди.

Макроскопик жисмларнинг ички энергияси U жисмларнинг ҳолатини ифодаловчи ҳарорат ва ҳажм каби параметрлар билан бир қийматли аниқланади.

Термодинамика ички энергия тушунчасига асосланади. Бу энергия ҳарорат ва ҳажм каби макроскопик параметрларга боғлиқ.

Идеал газнинг ички энергияси абсолют ҳароратга тўғри пропорционал.

1. Механик энергиянинг ички энергияга ва ички энергиянинг механик энергияга айланишига техника ва турмушдан мисоллар келтиринг. 2. Жисмларнинг ички энергияси қандай физик катталикларга боғлиқ? 3. Ҳарорати бир хил бўлганда бир моль водороднинг ички энергияси қанча бўлади? Ҳамондай ёки бир моль гелийнинг ички энергияси қанча бўлади? 4. Бир атомли идеал газнинг ички энергияси нимага тенг?

24-§. ТЕРМОДИНАМИКАДА ИШ ТУШУНЧАСИ

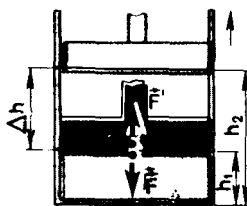
Қандай жараён оқибатида ички энергия ўзгаради? VIII синфда бундай жараён иккита эканлиги айтилган эди: иш бажариш ва иссиқлик узатиш. Гапни ишдан бошлаймиз. Газ ва бошқа жисмлар сиқилган ва кенгайганда иш нимага тенг бўлади?

Механика ва термодинамикада иш тушунчаси. Механикада иш куч ва кўчиш модулларининг улар орасидаги бурчак косинусига кўпайтмасига тенг деб таърифланади. Ҳаракатланаётган жисмга куч таъсир этганда иш бажарилади ва бу иш жисмнинг кинетик энергиясининг ўзгаришига тенг.

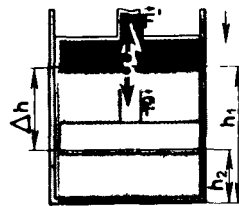
Термодинамикада бутун нарса сифатидаги жисмнинг ҳаракати ўрганилмайди ва унда гап макроскопик жисм қисмларининг бир-бирига нисбатан кўчиши тўғрисида боради. Натижада жисмнинг ҳажми ўзгаради, унинг тезлиги нолга тенглигича қолаверади. Термодинамикада механикадаги каби таърифланган иш жисмнинг кинетик энергия ўзгаришига эмас, балки ички энергиясининг ўзгаришига тенг.

Иш бажарилганда ички энергиянинг ўзгариши. Нима учун сиқилганда ёки кенгайганда жисмнинг ички энергияси ўзгаради? Жумладан, велосипед шинасига дам берилганда нима сабабдан ҳаво исийди?

Газнинг сиқилиш жараёнида ҳарорат куйидаги сабабдан ўзгаради: *ҳаракатланаётган поршеньга*



48-расм



49-расм

молекулалар эластик равишда урилганда молекулаларнинг кинетик энергияси ўзгаради. Поршень молекулаларга қарши ҳаракатланиб улар билан тўқнашганда, ўз механик энергиясининг бир қисмини молекулаларга беради, бунинг натижасида газ исийди. Поршень учиб келаётган тўпни оёғининг зарби билан қайтариб, тўпга зарбдан олдинги тезлигидан анча катта тезлик берадиган футболчи каби ишлайди.

Агар газ, аксинча, кенгайса, узоқлашаётган, поршенга урилгандан сўнг молекулаларнинг тезлиги камайди, натижада газ совийди. Учиб келаётган тўпнинг тезлигини камайтириш ёки тўпни тўхтатиш учун ҳам футболчи худди шундай таъсир қилади: футболчининг оёғи тўпга йўл бергандек бўлиб, тўпдан олдинга қараб ҳаракатланади.

Сикилиш ёки кенгайишда молекулалар ўзаро таъсирининг ўртача потенциал энергияси ҳам ўзгаради, чунки бу ҳолларда молекулалар орасидаги ўртача масофа ўзгаради.

Ишни ҳисоблаш. Цилиндр ичида поршень тагида турган газ ми-солида ишни ҳажмининг ўзгаришига боғлиқ равишда ҳисоблаб чиқарамиз (48-расм). Дастлаб газга ташқи жисм (поршень) томонидан таъсир қиладиган \vec{F} кучининг ишини эмас, балки газнинг ўзи поршенга \vec{F}' куч билан таъсир қилганда бажарадиган ишни ҳисоблаб топиш осон. Ньютоннинг учинчи қонунига асосан, $\vec{F}' = -\vec{F}$.

Газ томонидан поршенга таъсир қиладиган кучнинг модули $F' = \rho S$ га тенг, бу ерда ρ —газ босими, S —поршень юзи. Газ кенгайётган ва поршень \vec{F}' куч йўналишида жуда кичик $\Delta h = h_2 - h_1$ масофага силжиётган бўлсин, деб фараз қилайлик. Агар поршеннинг кўчиши жуда кичик бўлса, газнинг босимини ўзгармайди деб ҳисоблаш мумкин.

Газнинг иши қуйидагига тенг:

$$A' = F' \Delta h = \rho S (h_2 - h_1) = \rho (Sh_2 - Sh_1). \quad (6.2)$$

Бу ишнинг газ ҳажмининг ўзгариши орқали ифодалаш мумкин. Газнинг бошланғич ҳажми $V_1 = Sh_1$ охириги ҳажми $V_2 = Sh_2$. Шунинг учун

$$A' = \rho (V_2 - V_1) = \rho \Delta V, \quad (6.3)$$

бу ерда $\Delta V = V_2 - V_1$ —газ ҳажмининг ўзгариши.

Кенгайганда газ мусбат иш бажаради, чунки куч йўналиши билан поршеннинг кўчиши йўналиши бир хил. Кенгайиш жараёнида газ ўз атропоидидаги жисмларга энергия узатади.

Агар газ сиқилса, у ҳолда газ бажарган иш учун (6.3) формула тўғрилигича қолаверади. Бироқ газ сиқилганда $V_2 < V_1$ бўлади ва шунинг учун $A' < 0$ (49-расм).

Ташқи жисмларнинг газ устида бажарган иши A газ бажарган иш A' дан фақат ишораси билан фарқ қилади: $A = -A'$, чунки газ-

га таъсир этувчи \vec{F} куч \vec{F}' кучга қарши йўналади, кўчиш эса аввалигича бўлаверади. Шунинг учун газга таъсир этувчи ташқи кучларнинг иши қуйидагига тенг:

$$A = -A' = -p \Delta V \quad (6.4)$$

Газ сиқилганда, яъни $\Delta V = V_2 - V_1 < 0$ бўлганда ташқи куч мусбат иш бажаради. Шундай бўлиши ҳам керак: газ сиқилганда куч

йўналиши билан кўчиш йўналиши бир хил бўлади. Ташқи жисмлар газ устида мусбат иш бажариб, газга энергия беради. Газ кенгайганда, аксинча, ташқи жисмлар бажарган иш манфий ($A < 0$), чунки бу ҳолда $\Delta V = V_2 - V_1 > 0$. Энди куч ва кўчиш йўналишлари қарама-қаршидир.

Ишнинг геометрик талқини. Газнинг босим ўзгармас бўлган ҳолда бажарган A' ишини геометрик томондан соддагина талқин этиш мумкин.

Газ босимининг ҳажмига боғланиш графигини чизамиз (50-расм). Бу ерда $p_1 = \text{const}$ график билан, V ўқ ва газ босимига тенг бўлган ab ва cd кесмалар билан чегараланган $abcd$ тўғри тўртбурчакнинг юзи сон жиҳатдан (6.3) ишга тенг:

$$A' = p_1 (V_2 - V_1) = |ab| \cdot |ac|.$$

Умумий ҳолда газнинг босими ўзгармай қолмайди. Масалан, изотермик жараёнда босим ҳажмга тескари пропорционал равишда ўзгаради (51-расм). Бу ҳолда ишни ҳисоблаб топиш учун ҳажмнинг умумий ўзгаришини майда-майда қисмларга бўлиш, элементар ишларни ҳисоблаб чиқариш, сўнг эса уларнинг ҳаммасини қўйиш керак. Бунда ҳам иш аввалигича p нинг V га боғланиш графиги билан, V ўқ ва газнинг бошланғич ва охири ҳолатидаги p_1 ва p_2 босимларига тенг бўлган ab ва cd кесмалар билан чегараланган шаклнинг юзига сон жиҳатдан тенг.

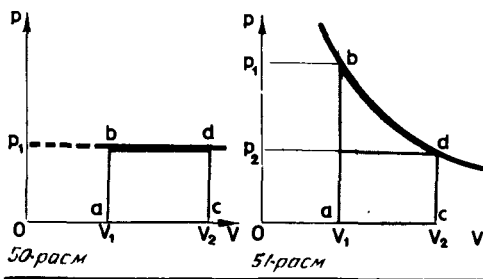
Газ ҳажмини ΔV миқдорда ўзгартирадиган ташқи кучнинг иши $A = -p \Delta V$ га тенг. Газнинг ўзининг бажарган иши $A' = -A = p \Delta V$ га тенг, бу ерда p —газ босими.

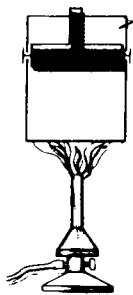
?

1. Нима учун сиқилганда газлар исийди? 2.51-расмда тасвирланган изотермик жараёнда ташқи кучлар мусбат иш бажарадими ёки манфий иш бажарадими?

25-§. ИССИҚЛИК МИҚДОРИ

Цилиндрда турган газнинг ички энергиясини факат иш бажариш йўли билангина эмас, балки газни иситиш йўли билан ҳам ўзгартириш мумкин. Бу тўғрида VIII сифда гапирил-





52 расм

ган эди. Сиз буларни эсингиздан чиқариб юборгандирсиз, эҳтимол. Келинг, эслаймиз.

Агар поршень қимирламайдиган қилиб қўйилса (52-расм), иситилганда газнинг ҳажми ўзгара олмайди ва иш бажарилмайди. Бирок ҳарорати ва бинобарин, ички энергияси ортади.

Бир жисмдан бошқа жисмга иш бажармасдан энергия узатиш жараёнига иссиқлик алмашуви ёки иссиқлик узатиш дейилади.

Иссиқлик алмашуви натижасида жисмга берилган энергия иссиқлик миқдори дейилади. Иссиқлик алмашувида жисмлар орасидаги чегарада совуқ жисмнинг тезроқ ҳаракатланадиган молекулалари билан иссиқ жисмнинг тезроқ ҳаракатланадиган молекулалари ўзаро таъсирлашади. Натижада молекулаларнинг кинетик энергиялари тенглашади ва совуқ жисм молекулаларининг тезлиги ортади, иссиқ жисм молекулаларининг тезлиги камаяди.

Иссиқлик алмашувида энергия бир турдан бошқа турга айланмайди: иссиқ жисм ички энергиясининг бир қисми совуқ жисмга узатилади.

Иссиқлик миқдори ва иссиқлик сифими. VIII синф физика курсидан маълумки, массаси m бўлган жисмни t ҳароратдан t_1 ҳароратгача иситиш учун унга Q иссиқлик миқдори бериш керак:

$$Q = cm(t_2 - t_1) = cm \Delta t. \quad (6.5)$$

Совиганда жисмнинг охириги ҳарорати t_2 бошланғич ҳарорати t_1 дан паст бўлади ва жисм берадиган иссиқлик миқдори манфий бўлади.

(6.5) формуладаги c коэффициент *солиштирма иссиқлик сифими* деб аталади. **Солиштирма иссиқлик сифими** — 1 кг модданинг ҳароратини 1 К га ўзгартиришда унга бериладиган ёки ундан олинадиган иссиқлик миқдоридир.

Солиштирма иссиқлик сифими фақат модданинг хоссаларигагина эмас, балки иссиқлик қандай жараёнда узатилаётганига ҳам боғлиқ. Ўзгармас босим шароитида иситилганда газ кенгайиб, иш бажаради. Газни ўзгармас босим шароитида 1°C га иситиш учун унга бериладиган иссиқлик миқдори газни ўзгармас ҳажм шароитида 1°C га иситишда бериладиган иссиқлик миқдоридан ортик бўлади.

Суюқ ва қаттиқ жисмлар иситилганда арзимаган даражада кенгайди, уларнинг ўзгармас ҳажм ва ўзгармас босим шароитидаги солиштирма иссиқлик сифимлари бир-биридан кам фарқ қилади.

Буғ ҳосил бўлишининг солиштирма иссиқлиги. Суюқликни буғга айлантириш учун унга маълум миқдор иссиқлик бериш лозим. Буғга бундай айланишда суюқликнинг ҳарорати ўзгармайди. Суюқлик ўзгармас ҳарорат шароитида буғга айланганда молекулаларнинг кинетик энергияси ортмайди, бироқ уларнинг потенциал энергияси ортади. Чунки газ молекулалари орасидаги ўртача масофа суюқлик молекулалари орасидаги масофадан кўп марта ортик.

1 кг суюқликни ўзгармас ҳарорат шароитида буғга айлантириш учун зарур бўлган иссиқлик миқдори буғ ҳосил бўлишининг солиштирма иссиқлиги деб аталади. Бу миқдор r ҳарфи билан белгиланади ва килограммга тўғри келган жоуллар (Ж/кг) ҳисобида ифодаланади.

Сув буғи ҳосил бўлишининг солиштирма иссиқлиги жуда катта: 100°C ҳароратда $r_{\text{H}_2\text{O}} = 2,256 \cdot 10^6$ Ж/кг. Бошқа суюқликларнинг (спирт эфир, симоб, керосин ва бошқаларнинг) буғ ҳосил бўлиш солиштирма иссиқлиги бундан 3—10 марта кам.

Массаси m бўлган суюқликни буғга айлантириш учун $Q_{\text{буғ}}$ иссиқлик миқдори керак:

$$Q_{\text{буғ}} = r m. \quad (6.6)$$

Буғ конденсацияланганда худди шундай миқдорда иссиқлик ажралиб чиқади:

$$Q_{\text{к}} = -r m. \quad (6.7)$$

Солиштирма эриш иссиқлиги. Кристалл жисм эриётганда унга берилаётган бутун иссиқлик молекулаларининг потенциал энергиясини орттиришга сарф бўлади. Молекулаларнинг кинетик энергияси ўзгармайди, чунки жисм ўзгармас ҳарорат шароитида эриятти.

1 кг кристалл моддани эриш ҳароратида ўшандай ҳароратли суюқликка айлантириш учун зарур бўладиган иссиқлик миқдори λ солиштирма эриш иссиқлиги деб аталади.

1 кг модда кристалланганда худди шундай миқдорда иссиқлик ажралиб чиқади. Музнинг солиштирма эриш иссиқлиги анча катта: $3,34 \cdot 10^5$ Ж/кг.

«Агар музнинг эриш иссиқлиги бунчалик катта булмаганда эди,— деб ёзган эди Р. Блэк XVIII асрадаёқ — у ҳолда бутун музнинг массаси бир неча минут ёки бир неча секунд ичида эриб кетар эди, чунки ҳаводан иссиқлик музга муттасил ўтиб туради. Бунинг оқибати ёмон бўлар эди: ахир ҳозирнинг ўзида ҳам кўп муз ва қорлар эриб, катта-катта тошқинлар келади-ку»¹.

¹ Р. Блэк (1728—1792) — эриш иссиқлиги ва буғ ҳосил бўлиш иссиқлигини кашф қилган инглиз олими.

Массаси m бўлган кристалл жисмни эритиш $Q_{эp}$ иссиқлик миқдори керак:

$$Q_{эp} = \lambda m. \quad (6.8)$$

Жисм кристалланганда худди шундай миқдорда иссиқлик ажралиб чиқади:

$$Q_{кp} = -\lambda m. \quad (6.9)$$

?

1. Иссиқлик миқдори деб нимага айтилади? 2. Модданинг солиштирма иссиқлик сифими нимага боғлиқ? 3. Буғ ҳосил бўлишининг солиштирма иссиқлиги деб нимага айтилади? 4. Солиштирма эриш иссиқлиги деб нимага айтилади? 5. Қандай ҳолларда иссиқлик миқдори манфий бўлади?

26-§. ТЕРМОДИНАМИКАНИНГ БИРИНЧИ ҚОНУНИ

Термодинамиканинг биринчи қонуни — иссиқлик ҳодисаларига жорий этилган энергиясининг сақланиш қонунидир. Бу қонун ички энергиянинг қандай сабаблардан ўзгаришини кўрсатади. Бу улуг қонун жуда соддадир.

Энергиянинг сақланиш қонуни. XIX асрнинг ўрталарига келиб кўпдан-кўп тажрибалар *механик энергия ҳеч қачон беномунишон йўқолиб кетмаслигини* исбот қилди. Масалан, бир парча кўрғошинга болға билан урсак, кўрғошин маълум даражада исийди. Ишқаланиш кучлари жисмларни тўхтатади, бунда жисмлар исийди.

Кўплаб бундай кузатишлар ҳамда тажрибалардан топилган фактларни умумлаштиришлар асосида энергиянинг сақланиш қонунига таъриф берилган:

Табиатда энергия йўқдан бор бўлмайди ва йўқолмайди: энергия миқдори ўзгармайди, у фақат бир турдан бошқа турга ўтади.

Энергиянинг сақланиш қонуни табиатда бўладиган ҳамма ҳодисаларни бошқаради ва уларни бир қилиб мужассамлаштиради. Бу қонун мутлақо аниқ бажарилади: у тўғри бўлмай қолган ҳол ҳеч қачон бўлган эмас.

Бу қонунни XIX аср ўртасида аслида врач бўлган немис олими Р. Майер (1814—1878), инглиз олими Д. Жоуль (1818—1898) кашф этган бўлиб, уни немис олими Г. Гельмгольц (1821—1894) ўз асарларида янада тўлароқ таърифлаб берди.

Термодинамиканинг биринчи қонуни. *Энергиянинг сақланиш ва айланишининг иссиқлик ҳодисаларига жорий этилган қонуни термодинамиканинг биринчи қонуни деб аталади.*

Термодинамикада оғирлик марказининг вазияти амалда ўзгармайдиган жисмлар ўрганилади. Бундай жисмларнинг механик энергияси ўзгармайди, фақат ички энергияси ўзгара олади.

Шу чоккача биз системанинг ички энергияси иш бажариш ҳисобига ёки атрофдаги жисмлар билан иссиқлик алмашилиши ҳисобига ўзгарадиган жараёнларни кўриб келдик. Умумий ҳолда система бир ҳолатдан бошқа ҳолатга ўтганда ички энергия бир вақтнинг ўзида иш бажариш ҳисобига ҳам, иссиқлик узатиш ҳисобига ҳам ўзгаради. Термодинамиканинг биринчи қонуни айни мана шундай умумий ҳоллар учун таърифланади:

Система бир ҳолатдан бошқа ҳолатга ўтганда унинг ички энергиясининг ўзгариши ташқи кучлар система устида бажарган иш билан системага узатилган иссиқлик миқдорининг йиғиндисига тенг:

$$\Delta U = A + Q. \quad (6.10)$$

Агар система яққаланган бўлса, система устида иш бажарилмайди ($A=0$) ва бу система атрофдаги жисмлар билан иссиқлик алмашмайди ($Q=0$). Термодинамиканинг биринчи қонунига асосан, бу ҳолда $\Delta U = U_2 - U_1 = 0$ ёки $U_1 = U_2$. Яққаланган системанинг ички энергияси ўзгармайди (сақланади).

Кўпинча ташқи жисмларнинг система устида бажарган A иши ўрнига системанинг ташқи жисмлар устида бажарган A' иши кўриб чиқилади. $A' = -A$ эканлигини (23-§ га қ.) ҳисобга олсак, термодинамиканинг (6.10) шаклда ёзилган биринчи қонунини қуйидагича ёзамиз:

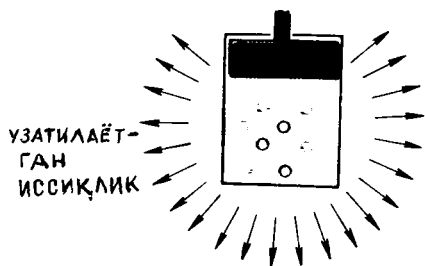
$$Q = \Delta U + A'. \quad (6.11)$$

Системага берилган иссиқлик миқдори системанинг ички энергиясини ўзгартиришга ва системанинг ташқи жисмлар устида иш бажаришига сарф этилади.

Абадий двигателъ яратиш мумкин эмаслиги ҳақида. Термодинамиканинг биринчи қонундан абадий двигателъ яратиш мумкин эмаслиги келиб чиқади; абадий двигателъ дегани ёқилғи ёки бирор бошқа материал сарфламасдан чегараланмаган миқдорда иш бажара оладиган қурилмадир. Агар системага иссиқлик келиб турмаса ($Q=0$), у ҳолда (6.11) формулага асосан иш A' фақат ички энергиянинг камайиши ҳисобига бажарилиши мумкин: $A' = -\Delta U$. Жамғарилган энергия тугагандан сўнг двигателъ ишламай қўяди.

Иш ва иссиқлик миқдори — энергия ўзгариши жараёнининг характеристикаларидир. Тайинли бир ҳолатда система ҳамиша маълум бир ички энергияга эга бўлади. Бироқ системада маълум бир миқдор иссиқлик ёки иш бор деб гапириш тўғри эмас. Иш ҳам, иссиқлик миқдори ҳам система ички энергиясининг бирор жараён натижасида ўзгаришини характерлайдиган катталиклардир.

Системанинг ички энергияси унинг иш бажариши ҳисобига ҳам, атрофдаги жисмларга бирор миқдор иссиқлик бериши



53-расм



54-расм

хисобига ҳам бир хилда ўзгариши мумкин. Масалан, цилиндрдаги кизиган газ совиб, иш бажармасдан ҳам ўз энергиясини камайтириши мумкин (53-расм). Бирок у атрофдаги жисмларга иссиқлик бермасдан поршенни сүриб ҳам энергиясини худди шундай миқдорда йўқотиши мумкин. Бунинг учун цилиндр деворлари билан поршень иссиқлик ўтказмайдиغان бўлиши керак (54-расм).

Бундан буён бутун физика курси давомида биз энергиянинг ҳар хил бошқа турлари билан, уларни бир турдан бошқа турга айлантириш ва узатиш усуллари билан танишиб борамиз.

Жисмлар системасининг ички энергияси иш бажарганда ва иссиқлик миқдори берганда ўзгаради. Ҳар бир ҳолатда система тайинли бир ички энергияга эга бўлади. Иш ва иссиқлик миқдори жисмда бўлмайди, балки жисмнинг ички энергиясининг ўзгариш жараёнини ифодалайди.

?

1. Термодинамиканинг биринчи қонунини таърифлаб беринг. 2. Қандай ҳолларда ички энергиянинг ўзгариши манфий бўлади? 3. Нима учун системанинг ички энергияси бор деб гапириш мумкин, лекин у маълум иссиқлик миқдорига ёки ишга эга деб гапириш тўғри эмас?

27-§. ТЕРМОДИНАМИКАНИНГ БИРИНЧИ ҚОНУНИНИ ТУРЛИ ХИЛ ЖАРАЁНЛАРГА ТАТБИҚ ЭТИШ

Термодинамиканинг биринчи қонуни ёрдамида кечаётган жараёнларнинг характери тўғрисида муҳим хулосалар чиқариш мумкин. Физик катталиклардан бири ўзгармай турадиган турли хил жараёнларни (изожараёнларни) кўриб чиқамиз. Система идеал газ бўлсин, деб фараз этайлик. Бу энг оддий ҳол.

Изохорик жараён. Изохорик жараёнда газнинг ҳажми ўзгармайди ва шунинг учун унинг иши нолга тенг бўлади. (6.11) тенгламага асосан, ички энергиянинг ўзгариши берилган иссиқлик миқдорига тенг:

$$\Delta U = Q. \quad (6.12)$$

Агар газ иситилаётган бўлса, $Q > 0$ ва $\Delta U > 0$ бўлади, газнинг ички энергияси ортади. Газ созиётганда $Q < 0$ ва $\Delta U = U_2 - U_1 < 0$ ички энергиянинг ўзгариши манфий, демак, газнинг ички энергияси камаяди.

Изотермик жараён. Изотермик жараёнда ($T = \text{const}$) идеал газнинг ((6.1) формулага қ.) ички энергияси ўзгармайди. (6.11) формулага асосан, системага берилган иссиқликнинг ҳаммаси иш бажаришга сарф бўлади:

$$Q = A'. \quad (6.13)$$

Агар газ иссиқлик олаётган бўлса ($Q > 0$) у мусбат иш бажаради ($A' > 0$). Аксинча, агар газ атрофдаги муҳитга (термостатга) иссиқлик бераётган бўлса, $Q < 0$ ва $A' < 0$ бўлади. Бу ҳолда ташқи кучларнинг газ устида бажарган иши мусбат бўлади.

Изобарик жараён. Изобарик жараёнда (6.11) формулага асосан, системага берилаётган иссиқлик микдори системанинг ички энергиясини ўзгартиришга ва ўзгармас босим шароитида иш бажаришга сарф этилади.

Адиабатик жараён. Энди гап атрофидаги жисмлар билан иссиқлик алмашмайдиган системада юз берадиган жараён тўғрисида боради. Иссиқлик алмашмайдиган қилиб изоляцияланган системада бўладиган жараён адиабатик жараён деб аталади.

Адиабатик жараёнда $Q = 0$ бўлади ва (6.10) тенгламага асосан, ички энергия фақат иш бажариш ҳисобига ўзгаради:

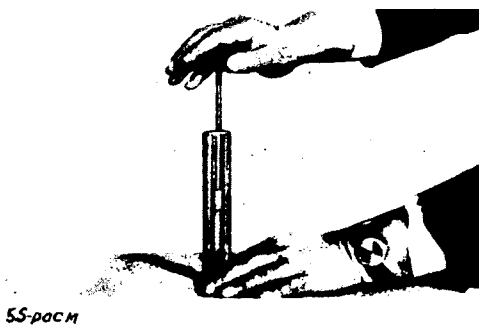
$$\Delta U = A. \quad (6.14)$$

Албатта, системани мутлақо иссиқлик алмаштирмайдиган филоф билан ўраб бўлмайди. Бирок бир қатор ҳолларда реал жараёнларни адиабатик жараёнларга жуда яқин деб ҳисоблаш мумкин. Бунинг учун бу жараёнлар етарлича тез ўтиши керакки, жараён кечган вақт ичида система билан атрофдаги жисмлар ўртасида иссиқлик сезиларли даражада алмашиб улгурмасин.

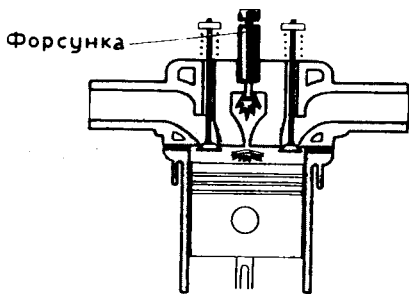
(6.14) тенгламага асосан, система устида мусбат иш бажарилганда, масалан, газни сиқишда газнинг ички энергияси ортади. Бу эса газнинг харорати кўтарилишини билдиради. Аксинча, кенгайишда газнинг ўзи мусбат иш бажаради ($A' > 0$) ва унинг ички энергияси камаяди — газ совийди.

Тез сиқилганда газнинг исишини поршени зич сиқилиб турадиган шаффоф цилиндрда кўрсатиш мумкин (55-расм). Агар цилиндр тубига эфирга ботириб олинган бир тутам пахта кўйиб, поршенни пастга тез туширсак, эфир буғлари алангаланиб кетади.

Тез сиқилганда ҳавонинг исишидан Дизель двигателларида фойдаланиладиган бўлинди. Бу двигателларда ёнувчи аралашма-ни ўт олдириш системаси йўқ, ваҳоланки, бензин билан ишлайдиган одатдаги ички ёнув двигателларида ўт олдириш системаси зарур. Дизель двигателида цилиндрга ёнувчи аралашма эмас, балки атмосфера ҳавоси сўрилади. Сиқиш тактининг



55-расм



56-расм

охирода цилиндр ичига махсус форсунка суюк ёқилғи пуркайди. (56- расм). Бу пайтга келиб цилиндр ичидаги ҳавонинг ҳарорати шу қадар юқори бўладики, натижада ёқилғи алангаланиб кетади. Дизель двигателларининг фойдали иш коэффициентлари одатдаги двигателларникидан юқори бўлади, аммо уларни яшаш ва ишлатиш анча мураккаб. Ҳозир тобора кўпроқ автомобилларга Дизель двигателлари ўрнатиляпти.

Ҳавони сикадиган кучли компрессорлар ишлаб турганда ҳавонинг ҳарорати шу қадар юқори бўладики, бунда цилиндрларни махсус системалар воситасида совитиш туришга тўғри келади. Кенгайишда газларнинг адиабатик совитишдан газларни суюклантирадиган машиналарда фойдаланилади.

Адиабатик кенгайишда газнинг совитиши Ер атмосферасида улкан миқёсда юз беради. Исиган ҳаво юқори кўтарилиб кенгайди, чунки юқори кўтарилган сари атмосфера босими камайиб боради. Ҳаво бундай кенгайганда анча совийди. Натижада кўтарилган сув буғлари конденсацияланиб, булут ҳосил бўлади.

Ёпиқ система ичида бўладиган иссиқлик алмашуви. Дастлабки ҳарорати турлича бўлган бир неча жисмдан иборат система ичида бўладиган иссиқлик алмашувини, масалан, идиш ичидаги сув билан унга туширилган иссиқ темир шарча ўртасида бўладиган иссиқлик алмашувини кўриб чиқамиз. Система атрофидаги жисмлардан етарли даражада изоляцияланган ва унинг ички энергияси ўзгармайди (ёпиқ система), деб ҳисоблаймиз. Системанинг ичида ҳеч қандай иш бажарилмайди. У ҳолда термодинамиканинг биринчи қонунига асосан ((6.10) тенгламага қ.) системадаги ҳар қандай жисм энергиясининг ўзгариши система ичида иссиқлик мувозанати қарор топгунча бу жисм олган ёки берган иссиқлик миқдорига тенг: $\Delta U_i = Q_i$. Системанинг ҳамма жисмларига оид бўлган бундай ифодаларни қўшиб ва умумий ички энергия ўзгармас ($\Delta U_1 + \Delta U_2 + \Delta U_3 + \dots = 0$) эканлигини ҳисобга олиб, қуйидаги тенгламани чиқарамиз:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots = 0. \quad (6.15)$$

Бу тенглама **иссиқлик балансининг тенгламаси** деб аталади. Бу ердаги $Q_1, Q_2, Q_3 \dots$ — жисмлар берган ёки олган иссиқлик миқдор-

лари. Бу иссиқлик миқдорлари (6.5) формула билан ифодаланади; агар иссиқлик алмашуви жараёнида модда суяқ ҳолатдан газ ҳолатига ёки қаттиқ ҳолатга ўтса (ёки, аксинча суяқлик ҳосил бўлса), иссиқлик миқдорлари (6.6), (6.7), (6.8), (6.9) формулалар билан ифодаланади.

Иссиқлик балансининг тенгламаси дастлаб калориметрдаги жисмлар ўртасида юз берадиган иссиқлик алмашинишини тажрибада кузатишда кашф этилган; калориметр деган асбоб жисмларни атрофдаги муҳит таъсиридан мумкин қадар кўпроқ холи қилади. Калориметрнинг тузилишини сиз VIII синфда ўрганган эдингиз.

Идеал газнинг ички энергияси фақат изотермик жараёндагина ўзгармайди. Изохорик жараёнда ички энергия иссиқлик узатиш ҳисобига ўзгаради, изобарик жараёнда эса ички энергия иссиқлик узатиш ҳисобига ҳам, иш бажариш ҳисобига ҳам ўзгаради. Атрофдаги жисмлар билан иссиқлик алмашмайдиган системада адиабатик жараён юз беради. Бу жараёнда энергиянинг ўзгариши ташқи кучларнинг ишига тенг.

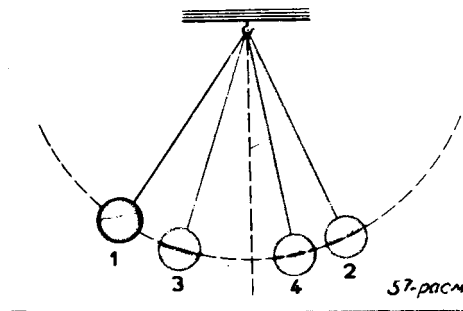
- !
1. Қуйидаги ҳоллардан қайси бирида газнинг иши катта бўлади: газ V_1 ҳажмдан V_2 ҳажмга қадар изотермик равишда кенгайгандами ёки газ V_1 ҳажмдан V_2 ҳажмга қадар изобарик равишда кенгайгандами?
 2. Адиабатик жараёнларга китобда айтилмаган мисоллардан келтиринг.
 3. Учта жисмдан иборат система учун иссиқлик баланси тенгламаси қандай ёзилади?

28-§. ТАБИАТДАГИ ЖАРАЁНЛАР ҚАЙТМАС ЖАРАЁНЛАРДИР

Энергиянинг сақланиш қонунига асосан, ҳар қандай айланишларда энергиянинг миқдори ўзгармайди. Лекин бу қонун энергиянинг қандай айланишлари юз бериши мумкинлиги тўғрисида ҳеч нима билдирмайди. Шу билан бирга энергиянинг сақланиш қонуни нуқтаи назаридан бўлиши мумкин бўлган кўп жараёнлар амалда ҳеч қачон юз бермайди.

Қайтмас жараёнларга мисоллар. Иситилган жисмлар ўз энергиясини атрофда турган совуқроқ жисмларга бериб аста-секин совийди. Совуқ жисмдан иссиқ жисмга иссиқлик узатиш каби тесқари жараён энергиянинг сақланиш қонунига хилоф келмайди, лекин бундай жараён ҳеч қачон ўз-ўзидан юз бермайди.

Бошқа бир мисолни олайлик. Мувозанат вазиятдан чиқарилган маятникнинг тебранишлари бориб-бориб сўнади (57-рasm: маятникнинг мувозанат вазиятдан энг кўп оғдирил-



ганда кетма-кет эгаллаган вазиятлари 1, 2, 3, 4 рақамлари билан белгиланган). Ишқаланиш кучларининг иши ҳисобиға механик энергия камаяди, маятник ва атрофдаги ҳавонинг ҳарорати (демак, уларнинг ички энергияси) салгина кўтарилади. Маятникнинг ўзининг ва атрофдаги муҳитнинг (ҳавонинг) совиши ҳисобиға маятникнинг амплитудаси ортишидек тесқари жараён ҳам энергетик нуқтаи назардан юз бериши мумкин. Лекин бундай жараён ҳеч қачон кузатилган эмас. Механик энергия ўз-ўзидан ички энергияға айланади-ю, лекин ички энергия ўз-ўзидан механик энергияға айланмайди. Бунда *бир бутун жисмнинг тартибли ҳаракатининг энергияси унинг таркибидаги молекулаларнинг бетартиб иссиқлик ҳаракатининг энергиясига айланади.*

Табиатдаги жараёнларнинг қайтмаслиги тўғрисида умумий хулоса. Иссиқ жисмдан совуқ жисмға иссиқлик ўтиши ва механик энергиянинг ички энергияға ўтиши энг типик қайтмас жараёнларға мисоллардир. Бундай мисолларни кўплаб келтириш мумкин. Бу мисолларнинг ҳаммаси табиатда жараёнлар термодинамиканинг биринчи қонунида ҳеч акс эттирилмаган маълум бир йўналишда юз беришини кўрсатади. *Табиатда ҳамма макроскопик жараёнлар фақат тайинли бир йўналишда юз беради. Тесқари йўналишда улар ўз-ўзидан юз беролмайди.* Табиатдаги ҳамма жараёнлар қайтмас жараёнлар бўлиб, уларнинг энг фожиалилари организмларнинг қариши ва ўлишидир.

Қайтмас жараён тушунчасининг аниқ таърифи. Жараёнлар қайтмайдиган бўлишини моҳиятини тўғри тушуниб олиш учун бу тушунчани аниқлаштирамиз. **Қайтмас жараёнлар деб фақат тайинли бир йўналишдагина ўз-ўзидан юз бера оладиган жараёнларға айтилади; тесқари йўналишларда улар фақат мураккаброқ жараённинг бир бўлаги сифатидагина юз бера олади.** Масалан, маятникни қўл билан туртиб унинг тебранишлари амплитудасини янада орттириш мумкин. Лекин амплитуда бу ҳолда ўз-ўзидан ортгани йўқ, балки қўл билан туртишни ўз ичига олган мураккаброқ жараён натижасида ортди.

«Тесқари» кино. Табиатдаги ходисаларнинг қайтмайдиган жараён эканлигига кинофильм лентасини тесқари айлантириб кўриш яхши мисол бўлади. Масалан, бунда сувға шўнғиш қуйидагича кўринади. Бошда ҳовуздаги сокин сув тўлқинлана бошлайди, сўнгра тезлик билан юқорига кўтарилаётган оёқлар, ундан кейин шўнғувчининг ўзи кўринади. Сув юзи тезда тинчланади. Шўнғувчининг тезлиги аста-секин камаяди, ниҳоят, у минора устида тинч тургани кўринади. Агар жараёнларни қайтариш мумкин бўлганда эди, биз экранда кўрган нарсалар ҳақиқатда юз берган бўлар эди.

Юз бераётган нарсанинг «бемаънилиги» шундан келиб чиқадики, биз жараёнларнинг маълум бир йўналишда юз беришиға ўрганиб қолганмиз ва уларнинг тесқари тартибда юз бериши мумкин эмаслигига шубҳа қилмаймиз. Лекин шўнғувчининг сувдан минораға кўтарилиши энергиянинг сакланиш қонуниға ҳам,

механика конунларига ҳам, умуман, *термодинамиканинг иккинчи қонунидан* бошқа ҳеч қандай конунларга ҳилоф эмас.

Термодинамиканинг иккинчи қонуни. Термодинамиканинг иккинчи қонуни бўлиши мумкин бўлган энергетик айланишларнинг йўналишини кўрсатади ва шу билан табиатдаги жараёнларнинг қайтмайдиган жараён эканлигини ифодалайди.

Бу қонун тажрибадан олинган фактларни бевосита умумлаштириш йўли билан аниқланган.

Термодинамиканинг иккинчи қонунининг бир неча таърифи бор, бу таърифлар сиртдан қараганда бир-биридан фарқ қилади, лекин аслида айни бир нарсани ифодалайди, шунинг учун уларнинг ҳаммасининг аҳамияти бир хил.

Немис олими Р. Клаузиус (1822—1888) иккинчи қонунни бундай таърифлаган: *агар совуқроқ система билан иссиқроқ системанинг иккаласида ёки атрофдаги жисмларда айни бир пайтда бошқа ўзгаришлар бўлмаса, совуқроқ системадан иссиқроқ системага иссиқлик ўтказиб бўлмайди.*

Бу ерда иссиқликнинг фақат маълум бир йўналишда узатилишидек тажрибадан топилган факт қайд қилинади: иссиқлик фақат иссиқ жисмлардан совуқ жисмларга ўз-ўзидан ўта олади. Тўғри, советкич қурилмаларда иссиқлик совуқ жисмдан иссиқроқ жисмга узатилади, лекин иссиқликнинг бундай узатилиши «атроф жисмлардаги бошқа ўзгаришларга» боғлиқ, яъни бунда совуқ иш ҳисобига бўлади.

Бу қонуннинг муҳимлиги шундан иборатки, бу қонундан фақат иссиқлик узатиш жараёнининг қайтмас жараён эканлиги тўғрисидагина эмас, балки табиатдаги бошқа жараёнларнинг ҳам қайтмас жараён эканлиги тўғрисида ҳулоса чиқариш мумкин. Агар бирор ҳолларда иссиқлик совуқ жисмлардан иссиқ жисмларга ўз-ўзидан ўтса эди, у ҳолда бошқа жараёнларни ҳам қайтадиган жараёнга айлантириш мумкин бўлар эди.

Ҳамма жараёнлар ўз-ўзидан тайинли бир йўналишда кечади. Улар қайтмас жараёнлардир. Иссиқлик ҳаммаша иссиқ жисмдан совуқ жисмга ўтади, макроскопик жисмларнинг механик энергияси ички энергияга ўтади.

Табиатдаги жараёнларнинг йўналишини термодинамиканинг иккинчи қонуни кўрсатиб беради.

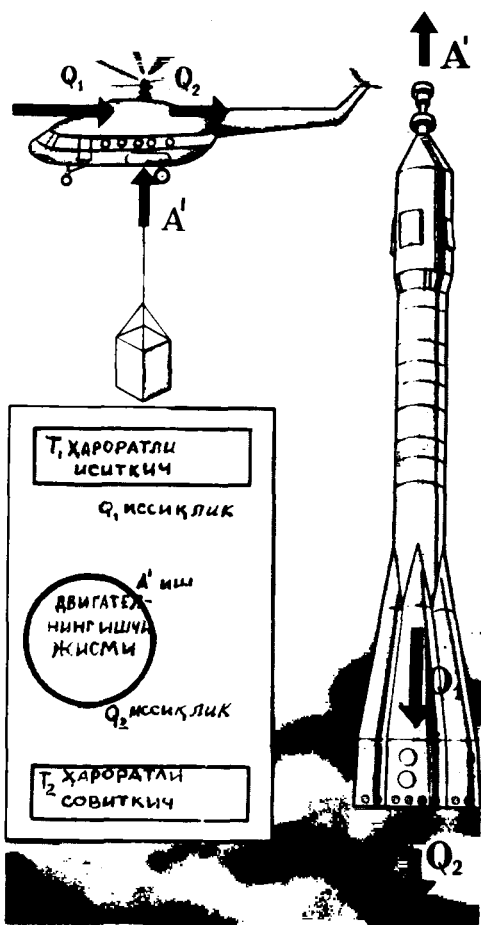
?

1. Қандай жараёнлар қайтмас жараёнлар деб аталади? Энг типик қайтмас жараёнларни айтиб беринг. 2. Китобда тилга олинмаган қайтмас жараёнларга мисоллар келтиринг. 3. Термодинамиканинг иккинчи қонунини таърифлаб беринг. 4. Агар дарёлар тескари оқса, бу ҳол энергиянинг сақланиш қонуни бузилганини билдирадими?

29-§. ИССИҚЛИК ДВИГАТЕЛЛАРИНИНГ ИШЛАШ ПРИНЦИПЛАРИ. ИССИҚЛИК ДВИГАТЕЛЛАРИНИНГ ФЙДАЛИ ИШ КОЭФФИЦИЕНТИ (ФИК)

Ер қобиғи ва океанлардаги ички энергия запасларини амалда чегараланмаган деб ҳисоблаш мумкин. Бирок энергия запасига эга бўлишнинг ўзи кифоя эмас. Энергия ҳисобига фабрика ва заводларда станокларни, транспорт воситаларини, трактор ва бошқа машиналарни ҳаракатга келтириш, электр генераторларининг роторини айлантириш ва шу каби ишларни бажара билиш зарур. Инсониятга двигателлар, яъни иш бажара оладиган қурилмалар керак. Ердаги двигателларнинг кўп қисми иссиқлик двигателлари, яъни ёқилғининг ички энергиясини механик энергияга айлантирувчи қурилмалардир.

Иссиқлик двигателларининг ишлаш принциплари. Двигатель



58-расм

иш бажариши учун двигатель поршенининг ёки турбина куракларининг иккала томонида босимлар фарқи бўлиши зарур. Ҳамма иссиқлик двигателларида босимларнинг бу фарқи иш бажарадиган жисмнинг ҳароратини атрофдаги муҳитнинг ҳароратига нисбатан бир неча юз ёки бир неча минг градус кўтариш ҳисобига пайдо бўлади. Ҳароратнинг бундай кўтарилиши ёқилғи ёнганда юз беради (58-расм).

Иссиқлик двигателларининг ҳаммасида ишчи жисм (иш бажарадиган жисм) газ бўлиб, газ кенгайганда иш бажаради. Ишчи жисмнинг (газнинг) бошланғич ҳароратини T_1 билан белгилаймиз. Бу турбиналари ёки буғ машиналарининг буғ қозонида буғ ўша T_1 ҳароратга эга бўлади.

Ички ёнув двигателлари ёки газ турбиналарида ҳарорат ёқилғи бевосита двигателнинг ичида ёнганда кўтарилади. T_1 ҳарорат иситкичнинг ҳарорати деб аталади.

Совиткичнинг аҳамияти. Иш бажарила борган сари газнинг энергияси камая боради ва муқаррар равишда бирор T_2 ҳароратга қадар совийди. Бу ҳарорат атрофдаги муҳитнинг ҳароратидан паст бўлолмайди, чунки акс ҳолда газ босими атмосфера босимидан кичик бўлиб қолиб, двигатель иш бажаролмай қолади. Одатда T_2 ҳарорат атрофдаги муҳитнинг ҳароратидан бирмунча юқори бўлади. *Бу ҳарорат совиткичнинг ҳарорати деб аталади.* Совиткич сифатида атмосфера ёки конденсатор деб аталадиган махсус қурилмалардан фойдаланилади; *конденсаторлар* ишлатиб бўлинган буғни совитади ёки конденсациялайди. Конденсациялашда совиткичнинг ҳарорати атмосферанинг ҳароратидан паст бўлиши ҳам мумкин.

Шундай қилиб, ишчи жисм двигатель ичида кенгайганда ўзининг бутун ички энергиясини иш бажаришга бера олмайди. Иссиқликнинг бир қисми муқаррар равишда ишлатиб бўлинган буғлар ёки ички ёнув двигателлари ва газ турбиналаридан чиқадиган газлар билан бирга совиткичга (атмосферага) узатилади. Ички энергиянинг ўша қисми йўқолади.

Иссиқлик двигатели ишчи жисмнинг ички энергияси ҳисобига иш бажаради. Шу билан бирга бу жараёнда иссиқлик иссиқроқ жисмлардан (иситкичдан) совуқроқ жисмларга (совиткичга) узатилади.

Ёқилги ёнганда двигателнинг ишчи жисми Q_1 иссиқлик миқдори олади. A' иш бажаради ва совиткичга $Q_2 < Q_1$ иссиқлик миқдори беради.

Иссиқлик двигателнинг принципиал схемаси 58-расмда тасвирланган.

Иссиқлик двигателининг фойдали иш коэффициенти (ФИК). Иссиқлик двигателларида ички энергиянинг ишга тўлиқ айланмай қолишига табиатдаги жараёнларнинг қайтмас жараён эканлиги сабаб бўлади. Агар иссиқлик совиткичдан иситкичга ўз-ўзидан қайтадиган бўлганда эди, у ҳолда ички энергия ҳар қандай иссиқлик двигатели ёрдамида ишга тўлиқ айлантирилиши мумкин эди.

Энергиянинг сақланиш қонунига асосан, двигатель бажараётган иш

$$A' = |Q_1| - |Q_2|, \quad (6.16)$$

бўлади, бу ерда Q_1 — иситкичдан олинган иссиқлик миқдори, Q_2 — совиткичга берилган иссиқлик миқдори.

Иссиқлик двигателининг фойдали иш коэффициенти деб двигатель бажараётган A' ишнинг иситкичдан олинган Q_1 иссиқлик миқдорига нисбати айтилади:

$$\eta = \frac{A'}{|Q_1|} = \frac{|Q_1| - |Q_2|}{|Q_1|} = 1 - \frac{|Q_2|}{|Q_1|}. \quad (6.17)$$

Ҳамма двигателларда маълум миқдор иссиқлик совиткичга берилгани учун ҳамма ҳолларда $\eta < 1$ бўлади.

Иссиқлик двигателининг ФИК иситкич ва совиткич ҳароратларининг фаркига тўғри пропорционал бўлади. $T_1 - T_2 = 0$ бўлганда двигатель ишлай олмайди.

Иссиқлик двигателлари ФИКнинг максимал қиймати. Термодинамика қонунлари иситкичининг ҳарорати T_1 ва совиткичининг ҳарорати T_2 бўлган иссиқлик двигателининг бўлиши мумкин бўлган энг катта ФИКни ҳисоблаб чиқаришга имкон беради. Буни биринчи бўлиб француз инженери ва олими Сади Карно (1796—1832) «Оловнинг ҳаракатлантирувчи кучи ва бу кучни ҳосил қила оладиган машиналар ҳақида мулоҳазалар» номли асарига (1824) ҳисоблаб топди.

Карно ишчи жисм сифатида идеал газ қўлланиладиган идеал иссиқлик машинасини ўйлаб топди. Карнонинг ҳисоби бўйича бу машинанинг ФИК қиймати қуйидагича бўлади:

$$\eta_{\max} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}. \quad (6.18)$$

Карно машинасининг ФИК, қутилганидек, иситкич ва совиткич абсолют ҳароратларининг фаркига тўғри пропорционал бўлиб чиқди.

Карно ишот этганидек, бу формуланинг асосий аҳамияти шундаки, T_1 ҳароратли иситкич ва T_2 ҳароратли совиткич билан ишлайдиган ҳар қандай реал иссиқлик машинасининг фойдали иш коэффициентини идеал иссиқлик машинасининг ФИК дан ортиқ бўлмайди.

(6.18) формула иссиқлик двигателлари ФИК нинг максимал қийматининг назарий чегарасини кўрсатиб беради. Бу формула иситкичининг ҳарорати қанчалик юқори ва совиткичининг ҳарорати қанчалик паст бўлса, иссиқлик двигатели шунчалик самарали бўлишини кўрсатади. Совиткичининг ҳарорати абсолют нолга тенг бўлган ҳолдагина $\eta = 1$ бўлади.

Бирок амалда совиткичининг ҳарорати атрофдаги ҳавонинг ҳароратидан паст бўлмайди. Иситкичининг ҳароратини кўтариш мумкин. Бирок ҳар қандай материалнинг (каттик жисмининг) иссиққа чидамлилиги чекланган бўлади. Иситилганда материал аста-секин ўзининг эластиклик хоссаларини йўқотади, етарлича ҳароратда эса эриб кетади.

Ҳозирги вақтда инженерларнинг асосий кучлари иссиқлик двигателларининг қисмларида бўладиган ишқаланишни камайтириш ҳисобига, ёқилғининг тўлиқ ёнмай қолиши оқибатида исроф бўлишини камайтириш ва шу каби тадбирлар ҳисобига двигателларнинг ФИКни орттиришга қаратилган. Бундай тадбирлар билан ФИКни орттириш соҳасидаги бор имкониятлар ҳали каттадир. Масалан, буг турбинасида бугнинг бошланғич ва охириги ҳароратлари тахминан бундай: $T_1 = 800 \text{ K}$ ва $T_2 = 300 \text{ K}$. Бундай ҳароратларда ФИК нинг энг катта қиймати қуйидагича тенг бўлади:

$$\eta_{\max} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \approx 0,62$$

Энергиянинг турли хил исрофлари туфайли бу коэффициентнинг хақиқий қиймати $\eta = 40\%$ бўлади. Максимал ФИК 44% га яқин бўлиб, дизель двигателлари шундай ФИК га эга.

Иссиқлик двигателларининг ФИКни орттириш, уни мумкин бўлган максимал қийматга яқинлаштириш ўта муҳим техник вазифадир.

Иссиқлик двигателлари газнинг поршенлар сиртидаги ёки турбина кураклари сиртидаги босимлар фарқи эвазига иш бажаради. Бу босимлар фарқи ҳароратлар фарқи ёрдамида яратилади. Мумкин бўлган максимал ФИК бу ҳароратлар фарқига пропорционал бўлиб, иситкичнинг абсолют ҳароратига тесқари пропорционалдир.

Иссиқлик двигатели совиткичсиз ишлай олмайди (одатда совиткич вазифасини атмосфера бажаради).

1. Қандай қурилма иссиқлик двигатели деб аталади? 2. Иссиқлик двигателида иситкич, совиткич ва ишчи жисмнинг аҳамияти қандай? 3. Нима учун иссиқлик двигателларида океanning ички энергиясидан фойдаланиб бўлмайди? 4. Двигателнинг фойдали иш коэффициенти деб нимага айтилади? 5. Иссиқлик двигатели фойдали иш коэффициенти-нинг бўлиши мумкин бўлган энг катта қиймати нимага тенг?

30-§. ИССИҚЛИК ДВИГАТЕЛЛАРИНИНГ АҲАМИЯТИ.

ИССИҚЛИК ДВИГАТЕЛЛАРИ ВА АТРОФ-МУҲИТНИ МУҲОФАЗА ҚИЛИШ

Инсониятнинг бугунги ҳаётини иссиқлик двигателларисиз тасаввур қилиб бўлмайди. Иссиқлик двигателлари бўлмаганда эди, биз кўп миқдорда арзон электр энергиясига эга бўлмаган ва тез юрар транспортнинг деярли ҳамма турларидан маҳрум бўлар эдик.

Иссиқлик двигателларининг аҳамияти. Иссиқлик электр станцияларида электр токи генераторларининг роторларини ҳаракатга келтирадиган иссиқлик двигателлари (асосан қувватли буғ турбиналари)ни ишлатиш катта аҳамиятга эга. Бизнинг мамлакатимизда ишлаб чиқариладиган буюм электр энергиясининг 80% дан кўпини иссиқлик электр станциялари беради.

Атом электр станцияларининг ҳаммасида иссиқлик двигателлари сифатида буғ турбиналари ишлатилади. Бу станцияларда юқори ҳароратли буғ ҳосил қилишда атом ядроларининг энергияси ишлатилади.

Нихоят, ҳозирги замон транспортининг ҳамма асосий турларида асосан иссиқлик двигателлари ишлатилади. Автомобиль транспортда поршенли ички ёнув двигателларининг ёнувчи аралашма цилиндрдан ташқарида ҳосил қилинадиган турлари (карбюраторли двигателлар) ва ёнувчи аралашма бевосита

цилиндрнинг ичида хосил қилинадиган турлари (дизель двигателлари) ишлатилади. Қишлоқ хўжалигида жуда қўл келган тракторларга ҳам мана шу двигателлар ўрнатилади.

Темир йўл транспортида ХХ асрнинг ўрталарига қадар асосий двигатель буғ машинаси эди. Ҳозир эса асосан дизель билан ишлайдиган тепловозлар ва электровозлар юриб турибди. Бироқ электровозлар ҳам энергияни асосан электр станцияларидаги иссиқлик двигателларидан олади.

Сув транспортида ички ёнув двигателлари ҳам, йирик-йирик кемадарда катта қувватли буғ турбиналари ҳам ишлатилади.

Авиацияда енгил самолётларга поршенли двигателлар, улкан самолётларга эса иссиқлик двигателлари жумласига қирадиган турбореактив ва реактив двигателлар қўйилади. Космик ракетага ҳам реактив двигателлар билан учурилади.

Иссиқлик двигателлари ва табиатни муҳофаза қилиш. Ишлаштишга қулай бўлган энергия олиш мақсадида ишлаб чиқариш жараёнларининг барча бошқа турларига қараганда ҳамма жойда кўпроқ иссиқлик двигателларини ишлатиш атроф-муҳитга салбий таъсир кўрсатади.

Термодинамика қонунларига асосан, электр энергияси ва механик энергия ишлаб чиқаришда атроф-муҳитга кўп миқдорда иссиқлик чиқарилмасдан илож йўқ. Бунинг оқибатида Ердаги ўртача ҳарорат аста-секин кўтарилади. Ҳозирги вақтда Ер юзида двигателлар истеъмол қилаётган қувват 10^{10} кВт га етди. Бу қувват $3 \cdot 10^{12}$ кВт га етганда ўртача ҳарорат тахминан бир градусга кўтарилади. Ҳарорат янада кўтарилса борса, музликларнинг эриш хавфи ва Дунё океани сатҳининг фалокатли кўтарилиш хавфи туғилади.

Ундан ташқари, Ердаги ҳарорат ёқилғини катта миқёсда ёқишда атмосферага ажралиб чиқаётган карбонат ангидрид (CO_2)нинг миқдори ортиши оқибатида хавfli даражада ортиб бориши мумкин. Атмосферадаги карбонат ангидрид сув буғлари билан бир қаторда «парник эффектига» сабаб бўлади. Атмосфера кўзга кўринадиган қуёш нурини заиф ютади, бу нур Ер юзини иситади. Исиган сирт эса ўз навбатида кўзга кўринмайдиган нур (иссиқлик нурланиши) чиқарадики, буни асосан атмосферадаги карбонат ангидрид ютади. Очiq кунда қуёшдан Ер юзига тушаётган ёруғликнинг фақат 10—20% миқдоригина коинотга қайтади. Ер юзидаги ҳарорат «парник эффекти» туфайли бу эффект бўлмаган ҳолдагидан тахминан 35°C юқори бўлади. CO_2 нинг концентрацияси ортиши натижасида иссиқлик нурланиши янада кўп ютилади. Бу ҳол Ернинг ҳароратини орттиради.

Карбонат ангидриднинг атмосферадаги ҳажмий концентрацияси атмосферадаги ҳамма газларнинг 0,0314% ни ташкил қилади. Бу концентрациянинг салгина ортиб кетиши Ернинг иссиқлик балансини кескин бузиб юборади, деган хавфсираш бор. Чунки ҳозирнинг ўзидаёқ атмосферага йилига 5 млрд. т CO_2 чиқарилади.

Иссиқлик двигателларини ишлатишнинг салбий оқибатлари фақат шуларгина эмас. Иссиқлик электр станцияларининг ўтхоналари, автомобиллардаги ички ёнув двигателлари муттасил равишда атмосферага ўсимлик, жонивор ва инсон учун зарарли бўлган моддалар чиқариб туради: бу моддалар жумласига олтингугурт бирикмалари (тошкўмир ёнганда), азот оксидлари, углеводородлар, углерод (II) оксиди ва бошқалар киради. Бу жиҳатдан қараганда сони таҳликали равишда ортиб бораётган автомобиллар, айниқса катта хавф-хатар туғдиради, двигателдан чиққан газларни тозалаш эса анча қийин. Атом электр станцияларида хавфли радиоактив чиқиндиларни кўмиб ташлаш муаммолари кўндаланг бўлмоқда.

Ундан ташқари, электр станцияларида буғ турбиналаридан фойдаланиш ишлатиб бўлинган буғ совитиладиган ховузлар учун майдонларни талаб қилади. Электр станциялар қувватининг ортиши сувга бўлган эҳтиёжни кескин орттиради. 1980 йилда бизнинг мамлакатимизда бу мақсадларга 200 км³ га яқин сув, яъни хўжалиқнинг ҳамма шохбчаларига кетадиган сувнинг 35 % ига яқини талаб этилган эди.

Буларнинг ҳаммаси жамият олдига қатор муҳим муаммолар қўяди. Иссиқлик двигателларининг ФИҚини орттиришдек муҳим масала билан бир қаторда атроф-муҳитни муҳофаза қилиш соҳасида қатор тадбирларни амалга ошириш талаб қилинади. Зарарли моддаларнинг атмосферага чиқишига қаршилик қилувчи иншоотларнинг самарадорлигини орттириш, автомобиль двигателларида ёқилғининг тўлиқроқ ёнишига эришиш зарур. Двигателидан чиқаётган газларда СО нинг миқдори кўп бўлган автомобилларни ишлатишга ҳозирнинг ўзидаёқ йўл қўйилмаяпти. Одатдаги автомобиллардан қолишмайдиган электромобиллар яратиш имкониятлари ва ишлатиб бўлинган газларида зарарли моддалар бўлмайдиган ёқилғиларни ишлатиш (масалан, водород ва кислород аралашмаси билан ишлайдиган двигателлар) имкониятлари муҳокама қилинмоқда.

Ер ва сувни тежаш мақсадига бутун-бутун электр станциялари комплекси қуриш, биринчи навбатда сув билан таъминлаш цикли ёпиқ бўлган (атом) электр станциялари қуриш мақсадга мувофиқ келади.

Кўрилаётган тадбирларнинг бошқа бир йўли энергиядан фойдаланишнинг самарадорлигини орттиришдан, энергияни икти-сод қилиш учун курашдан иборат.

Юқорида тилга олинган муаммоларни ҳал этиш инсоният ҳаёти учун жуда муҳимдир. Атроф-муҳитни муҳофаза этиш иши ер шари микёсида тадбирлар кўришни талаб этади.

Иссиқлик двигателларининг асосий турлари: буғ турбиналари, ички ёнув двигателлари ва реактив двигателлардир.

Ҳамма иссиқлик двигателлари ишлаганда кўп миқдорда иссиқлик ажратади ва атмосферага ўсимлик ва хайвонот

учун зарарли бўлган кимёвий бирикмалар чиқаради. Бу ҳол атроф-муҳитни муҳофаза қилиш учун катта муаммоларни юзага келтиради.

1. Бизнинг мамлакатимизда ишлаб чиқариладиган электр энергиясининг қанча қисмини иссиқлик двигателлари беради? 2. Иссиқлик двигателларини ишлатишнинг салбий оқибатлари билан қандай асосий йўналишлар бўйича кураш олиб борилади? 3. Ениб турган ортиқча чироқни ўчириш билан Сиз атроф-муҳитни муҳофаза қилишга ўз ҳиссангизни қўшган бўласиз. Нима учун?

МАСАЛА ЕЧИШ НАМУНАЛАРИ

Бу бобнинг материалига оид масалаларда термодинамиканинг (6.10) ёки (6.11) кўринишда ёзилган биринчи қонунни қўлланилади.

Масала, ечиш учун ишни (6.4) формуладан фойдаланиб ва иссиқлик миқдорини (6.5), (6.6), (6.7), (6.8), (6.9) формулалардан фойдаланиб, ҳисоблай билиш керак. Шунинг назарда тутиш керакки, A , Q , ΔU миқдорлар мусбат бўлиши ҳам, манфий бўлиши ҳам мумкин.

Масалаларнинг кўпчилигида термодинамиканинг биринчи қонунининг умумий шакли эмас, балки унинг маълум бир жараёнларга қўлланиладиган ҳар хил хусусий таърифлари ишлатилади. Иссиқлик ўтказмайдиган қилиб изоляцияланган системада иссиқлик алмашувига доир масалалар иссиқлик балансининг (6.15) формуласи билан ечилади.

Газ қонунларига доир масалаларни ечгандагидек, бу боб материалига доир масалаларда ҳам системанинг бошланғич ва охириги ҳолатларини, шунингдек, уни тавсифловчи параметрларни аниқ ажратиш керак.

1. Ҳажми $V = 500 \text{ м}^3$ бўлган аэростат $p = 10^5 \text{ Па}$ босимда гелий билан тўлдирилади. Қўш нурида ишиш натижасида аэростатдаги газнинг ҳарорати $t_1 = 10^\circ\text{C}$ дан $t_2 = 25^\circ\text{C}$ га кўтарилган. Бунда газнинг ички энергияси қанчага ортган?

Ечилиши. Гелий бир атомли газдир, шунинг учун унинг ички энергияси (6.1) формула билан аниқланади. Ҳарорат T_1 бўлганда бу энергия $U_1 = \frac{3m}{2M} RT_1$. Ҳарорат T_2 бўлганда эса $U_2 = \frac{3m}{2M} RT_2$ бўлади.

Энергиянинг ўзгариши қуйидагига тенг:

$$\Delta U = U_2 - U_1 = \frac{3m}{2M} R(T_2 - T_1).$$

Гелийнинг массаси маълум эмас, лекин уни Менделеев — Клапейрон тенгламаси воситасида газнинг бошланғич ҳарорати, босими

ва ҳажми орқали ифодалаш мумкин: $\frac{mR}{M} = \frac{pV}{T_1}$. Энди $\frac{mR}{M}$ нинг қий-
матини энергия ўзгаришининг тенгламасига қўйсақ:

$$\Delta U = \frac{3}{2} pV \left(\frac{T_2}{T_1} - 1 \right) \approx 4 \cdot 10^6 \text{ Ж.}$$

2. Цилиндр ичида оғир поршень остида массаси $m = 0,20$ кг бўлган карбо-
нат ангидрид ($M = 0,044$ кг/моль) бор. Газ $\Delta T = 88$ К га иситилади. Бунда газ
қандай иш бажаради?

Ечилиши. Газ атмосфера ва поршень ҳосил қилган бирор ўз-
гармас p босим остида кенгайди. Бу ҳолда газнинг иши A' қуйида-
гига тенг:

$$A' = p(V_2 - V_1),$$

бу ерда V_1 ва V_2 — газнинг бошланғич ва охири ҳажмлари. Мен-
делеев — Клапейрон тенгламаси $pV = \frac{m}{M} RT$ дан фойдаланиб, pV_1 ва
 pV_2 кўпайтмаларни $\frac{m}{M} RT_1$ ва $\frac{m}{M} RT_2$ лар билан ифодалаймиз. У ҳолда

$$A' = \frac{m}{M} R(T_2 - T_1) \approx 3,3 \text{ Ж.}$$

3. Қўндаланг кесими $S = 200$ см² бўлган цилиндр ичидаги газ иситилганда
кенгайиб, унга $Q = 1,5 \cdot 10^5$ Ж иссиқлик миқдори берилган; бунда газнинг бо-
сими ўзгармасдан $p = 2 \cdot 10^7$ Па бўлиб турган. Агар поршень $\Delta h = 30$ см га
силжиган бўлса, газнинг ички энергияси қанчага ўзгарган?

Ечилиши. Термодинамиканинг (6.11) шаклда ёзилган биринчи
қонунига асосан,

$$Q = \Delta U + A',$$

бу ерда $A' = p\Delta V = pS\Delta h$ — газ бажарган иш. Шунинг учун

$$\Delta U = Q - pS\Delta h = 30 \text{ кЖ.}$$

4. Ичида $t_1 = 20^\circ\text{C}$ ҳароратли $m_1 = 0,20$ кг суви бўлган калориметрга ҳа-
рорати $t_2 = 80^\circ\text{C}$ бўлган $m_2 = 0,30$ кг сув қуйилади. Шундан сўнг калориметр-
даги ҳарорат $t = 50^\circ\text{C}$ бўлиб қолди. Калориметрнинг иссиқлик сифими нимага
тенг? (Жисмининг иссиқлик сифими деб ушнинг массаси билан солиштирма иссиқ-
лик сифимининг кўпайтмасига айтилади: $C = cm$.)

Ечилиши. Иссиқлик балансининг тенгламасига асосан, калори-
метрдаги жисмларнинг бир-бирига берадиган ва бир-бирдан олади-
ган иссиқлик миқдорлари йиғиндиси нолга тенг. Ҳарорати t_2 бўл-
ган сув $cm_2(t - t_2)$ иссиқлик миқдори беради, ҳарорати t_1 бўлган
сув эса $cm_1(t - t_1)$ иссиқлик миқдори олади; калориметр $C(t - t_1)$
иссиқлик миқдори олади, чунки унинг бошланғич ҳарорати сувнинг
ҳарорати t_1 га тенг эди. Бинобарин,

$$cm_2(t - t_2) + cm_1(t - t_1) + C(t - t_1) = 0.$$

Бундан

$$C = \frac{cm_1(t_1 - t) + cm_2(t_2 - t)}{t - t_1} \approx 420 \frac{\text{кЖ}}{\text{К}}.$$

5. $t_1 = 100^\circ\text{C}$ ҳароратли ишлатилиб бўлган бутдаги сув томчилари бу массасининг 90% ини ташкил этади. Бу бутни совитиш учун унга массаси худди шундай бўлган совуқ ($t_2 = 10^\circ\text{C}$) сув қўшилади. Ҳосил бўлган сувнинг ҳарорати t нимага тенг?

Ечилиши. Совуқ сувнинг массасини m билан белгилаймиз. У ҳолда буғнинг массаси $0,1 m$, сув томчиларининг массаси $0,9 m$ бўлади. Бу конденсацияланганда ва ҳосил бўлган сув совиганда берилган иссиқлик миқдори манфий:

$$Q_1 = -0,1 rm + 0,1 cm(t - t_1).$$

Совиётган томчилар берган иссиқлик миқдори ҳам манфий:

$$Q_2 = 0,9 cm(t - t_1), t < t_1.$$

Совуқ сув $Q_3 = cm(t - t_2)$ иссиқлик миқдори олади. Иссиқлик баланси тенгламасини тузамиз:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0; \quad -0,1 rm + 0,1 cm(t - t_1) + 0,9 cm(t - t_1) + cm(t - t_2) = 0.$$

Бундан

$$t = \frac{0,1r + c(t_1 + t_2)}{2c} \approx 82^\circ\text{C}.$$

6-МАШҚ.

1. Агар бир атомли идеал газнинг босими 3 марта ортиб, ҳажми 2 марта камайса унинг ички энергияси қандай ўзгаради?

2. $p = 10^5$ Па босим остида турган газ изобарик равишда кенгайиб, $A = 25$ Ж иш бажарди. Газнинг ҳажми қанчага ортган?

3. Термодинамик системага 200 Ж иссиқлик миқдори берилди. Агар бунда система 400 Ж иш бажарган бўлса, унинг ички энергияси қандай ўзгарган?

4. Отбой болғасининг стерженини сиқилган ҳаво ҳаракатга келтиради. Цилиндрдаги ҳавонинг массаси поршеннинг бир юриш вақти ичида 0,1 г дан 0,5 г гача ўзгаради. Цилиндр ичидаги ҳаво босимини ва ҳароратни (27°C) ўзгармайди деб ҳисоблаб, поршеннинг бир юришида газ қанча иш бажарганини аниқланг. Ҳавонинг моляр массаси $M = 0,029$ кг/моль.

5. 1 л сифимли яхшилаб беркитилган иккита бир хил идиш бир хил иситадиган газ горелкаларига қўйилди. Идишларнинг бирида ҳаво, иккинчисиде тўла сув бор. Қайси идишнинг ҳарорати 50°C га тезроқ етади? Нима учун?

*6. Абадий двигателнинг мана бундай лойиҳаси ҳам бўлган (59-расм). Епиқ идиш герметик тўсиқ билан иккига бўлинган; бу тўсиқ орқали най ва сув турбинаси ўтказилган; турбинанинг кожухида иккита тешик бор. Идишнинг пастки қисмидаги ҳаво босими юқоридаги босимдан катта. Сув най бўйлаб кўтарилиб, очиқ камерани тўлдиради. Пастки қисмида эса сувнинг галдаги порцияси турбинанинг кожухидаги

тешикка тўғри келган камерасидан тўкилади. Нима учун бундай машина абадий ишламайди?

7. 29-расмдаги 1—2, 2—3 ва 3—1 жараёнларда газнинг иши мусбатми ёки манфийми? Бу жараёнларнинг ҳар бирида газ иссиқлик оладими ёки берадими?

8. Массаси m ва моляр массаси M бўлган газнинг ҳарорати бир гал ўзгармас p босим шароитида, бошқа галда ўзгармас V ҳажм шароитида ΔT га кўтарилади. Газга биринчи ва иккинчи ҳолларда берилган иссиқлик миқдорлари бир-биридан қанчага фарқ қилади?

9. Массаси 4 кг бўлган ге-
лейини изохорик равишда 100 К га иситиш учун қандай иссиқлик миқдори керак?

10. Изотермик равишда кенгайганда газ 20 Ж иш бажарган. Газга қанча иссиқлик миқдори берилган?

11. Массаси 2 кг бўлган водород ўзгармас босим шароитида 10 К га иситилганда ички энергия қанчага ортганини ҳисоблаб топинг. (Ўзгармас босим шароитида водороднинг солиштира иссиқлик сифими 14 кЖ / (кг · К) га тенг).

12. Компрессорнинг цилиндрида бир атомли 4 моль идеал газ сиқияпти. Поршеннинг бир юришида 500 Ж иш бажарилган бўлса, бунда газнинг ҳарорати қанчага кўтарилган? Жараёни адиабатик жараён деб ҳисобланг.

13. 25°C ҳароратли 0,25 кг суви бўлган калориметрга 100°C ҳароратли 10 г сув буғи юборилди. Калориметрда қандай ҳарорат қарор топади? Калориметрнинг иссиқлик сифими 1000 Ж/К.

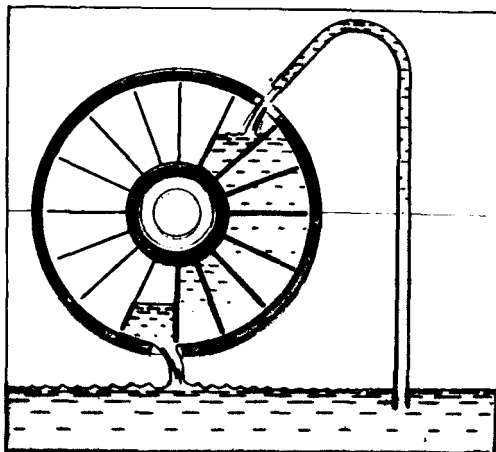
*14. Калориметрда 10°C ҳароратли 0,4 кг сув бор. Сувга ҳарорати — 40°C бўлган 0,6 кг муз солинди. Агар калориметрнинг иссиқлик сифими жуда кичик бўлса, калориметрда қандай ҳарорат қарор топади?

15. Советкичининг ҳарорати 27°C бўлган иссиқлик машинасининг ФИК принцип жиҳатдан олганда 80 % га тенг бўлиши учун иситкичининг ҳарорати қандай бўлиши керак?

16. Иссиқлик машинаси ишлаб турганда маълум вақт ичида ишчи жисм иситкичдан $Q_1 = 1,5 \cdot 10^6$ Ж иссиқлик олиб, советкичга $Q_2 = -1,2 \cdot 10^7$ Ж иссиқлик берган. Машинанинг ФИК ни ҳисоблаб топинг ва уни ФИК нинг мумкин бўлган энг катта қиймати билан солиштиринг. Иситкичининг ҳарорати 250°C, советкичники 30°C.

VI БОБНИНГ ҚИСҚАЧА ЯКУНЛАРИ¹

1. Макроскопик жисмлар ички энергияга эга бўлади, бу энергия жисмнинг ҳамма молекулалари қиладиган тартибсиз ҳаракатининг кинетик энергиялари билан ҳамма молекулаларнинг бир-бири



59-расм

¹ Бу бобда муҳим хулосалар кўп. Муҳим бандлар сонин еттигидан кам эмас.

билан қиладиган ўзаро таъсирининг потенциал энергиялари йиғиндисига тенг. Ички энергия термодинамик параметрларнинг — ҳарорат ва ҳажмнинг бир қийматли функциясидир.

2. Бир атомли идеал газнинг ички энергияси фақат ҳароратга боғлиқ:

$$U = \frac{3m}{2M} RT.$$

3. Термодинамиканинг биринчи қонунига асосан, система бир ҳолатдан бошқа ҳолатга ўтганда унинг ички энергиясининг ўзгариши ташқи кучлар бажарган иш билан системага берилган иссиқлик миқдорининг йиғиндисига тенг:

$$\Delta U = A + Q.$$

4. Система устида бажарилган иш термодинамика $A = -p\Delta V$ ифо-
дага тенг, бу ерда p — босим, ΔV — ҳажмнинг ўзгариши. Бунда сис-
теманинг ўзи $A' = -A = p\Delta V$ иш бажаради. Иссиқда ва совиқда
олинадиган ёки бериладиган иссиқлик миқдори $Q = cm\Delta T$ формула-
дан топилади, бу формуладаги c — солиштирма иссиқлик снғими,
 ΔT — ҳароратнинг ўзгариши. Бундан ташқари, буғ ҳосил бўлишида
ва эришда иссиқлик ютилади, конденсацияланиш ва кристалланишда
иссиқлик чиқади ((6.6) — (6.9) формулалар).

5. Иш ва иссиқлик миқдори ички эпергия ўзгарадиган жараён-
ларнинг характеристикаларидир.

Изохорик жараёнда ($V = \text{const}$) иш нолга тенг ва $\Delta U = Q$ бўлади.

Изотермик жараёнда ($T = \text{const}$) идеал газнинг ички энергияси
ўзгармайди ва $Q = A'$ бўлади.

Изобарик жараёнда ($p = \text{const}$) системага бериладиган иссиқлик
системанинг ички энергиясини ўзгартиришга ва иш бажаришга сарф
бўлади:

$$Q = \Delta U + A'.$$

Адиабатик жараёнда (иссиқлик ўтказмайдиган қилиб изоляция-
ланган системада)

$$Q = 0, \Delta U = A$$

бўлади.

Изоляцияланган системада иш бажармасдан иссиқлик алмашин-
ганда иссиқлик балансининг

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots = 0$$

тенгламаси ўринли бўлади, бу ерда Q_1, Q_2, Q_3, \dots — жисмлар ол-
ган ёки берган иссиқлик миқдорлари.

6. Табиатда макроскопик жисмлар билан бўладиган жараёнлар
қайтмас жараёнлардир. Ўзига хос қайтмас жараёнлар қуйидаги-
лардир: иссиқлик иссиқ жисмдан совуқ жисмга ўз-ўзидан ўтади,
бирок совуқ жисмдан иссиқ жисмга ўтмайди; механик энергия ўз-
ўзидан ички энергияга ўтади.

Термодинамиканинг иккинчи қонуни жараёнларнинг қайтмай-диган бўлишига оид тажрибалардан топилган фактларни умумлаштириш йўли билан таърифланди.

7. Термодинамика қонунларидан иситкичдан совиткичга иссиқлик узатиш жараёнидагина иссиқлик двигателлари иш бажара олиши келиб чиқади. Иссиқлик двигателининг фойдали иш коэффициентининг мумкин бўлган энг катта қиймати

$$\eta_{\max} = \frac{T_1 - T_2}{T_1},$$

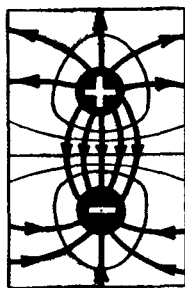
бу ерда T_1 — иситкичнинг ҳарорати, T_2 — совиткичнинг ҳарорати.

Иссиқлик двигателларининг ФИКини орттириш, уни мумкин бўлган энг катта қийматига яқинлаштириш ўта муҳим техник вазифадир.

ХУЛОСА

Биз модда тузилишининг молекуляр-кинетик назариясининг асослари билан танишиб чикдик. Бу назариянинг моҳияти ва аҳамияти тўғрисида машҳур америкалик физик Р. Фейнман (1918—1988) қисқа ва маъноли қилиб бундай деган: «Мабодо бирор дунёвий фалокат юз бериб, бунинг оқибаотида барча жамланган илмий билимлар барҳам топса-ю, тирик қолган мавжудотнинг келгуси авлодларига энг оз сондаги сўзлардан тузилган қандайдир жумлагина қолиши мумкин бўлса, биз қандай жумлани қолдиришимиз лозим? Мен бу жумла атом гипотезаси (уни сиз гипотеза эмас, балки факт денг, барибир ҳеч нарса ўзгармайди) ҳақидаги жумла бўлади деб ҳисоблайман: ҳамма жисмлар атомлардан — яъни майда-майда жисмчалардан тузилган, булар тўхтовсиз ҳаракатда бўладилар, кичик масофаларда ўзаро тортишадилар, аммо агар бир-бирига сиқилса итаришадилар».

Атомлар (ва молекулалар) ҳам ўз навбатида мураккаб тузилган бўлиб, элементар зарралардан иборатдир. Курсимизнинг галдаги қисмида биз модда тузилишининг янада ичқарисига томон кириб борамиз. Атом ва молекулалар ичида таъсир этадиган ва электр зарядли заррачалардан модда бўлагини ҳосил қиладиган электромагнит кучларни кўриб чиқамиз. Зарядли зарралар оқими — электр токи билан VIII синфдагидан кўра батафсилроқ танишамиз. Умуман электромагнит ҳодисаларнинг ниҳоятда кенг гуруҳига ўтамиз.



ЭЛЕКТРОДИНАМИКА АСОСЛАРИ

VII. Электростатика

VIII. Ұзгармас ток қонунари

IX. Магнит майдон

X. Электр тоқининг турли мухитлардан ўтиши

31- §. ЭЛЕКТРОДИНАМИКА НИМА!

Энди биз физиканинг «Электродинамика» деб аталадиган янги бўлимини ўрганишга киришамиз. Гап электр зарядли зарраларнинг ҳаракати ва ўзаро таъсири билан аниқланадиган жараёнлар устида боради. Бундай ўзаро таъсир электромагнит ўзаро таъсир деб аталади.

Бу ўзаро таъсирнинг табиатини ўрганиш натижасида биз физиканинг асосий тушунчаларидан бири бўлган электромагнит майдон тушунчасига келамиз.

Электродинамика — электр зарядли жисмлар ёки зарраларни бир-бирига таъсир эттирадиган ва материянинг махсус тури бўлган электромагнит майдон характерининг хосса ва қонуниятлари тўғрисидаги фандир.

Ўзаро таъсирларнинг фан кашф этган тўртта тури, яъни гравитацион, электромагнит, кучли (ядровий) ва заиф¹ ўзаро таъсирлар ичида электромагнит ўзаро таъсирлар кенг ва хилма-хил намоён бўлиши жиҳатидан биринчи ўринда туради. Кундалик турмушда ва техникада биз ҳаммадан кўпроқ электромагнит кучларнинг турли хил кўринишларини учратамиз. Булар эластик кучлари, ишқаланиш кучлари, одам ва турли ҳайвонларнинг мушак кучларидир.

Электромагнит ўзаро таъсирлар ўқиётган китобингизни кўришга имкон беради, чунки ёруғлик электромагнит майдоннинг турларидан биридир. Бу кучларсиз ҳаётнинг ўзини тасаввур этиб бўлмайди. Қосмонавтларнинг учишларидан маълум бўлдики, тирик мавжудот ва ҳатто одам ҳам бутун олам тортишиш кучлари организмларнинг ҳаёт фаолиятига ҳеч қандай таъсир кўрсатмайдиган вазнсизлик ҳолатида ҳам узок вақт яшай олар экан. Лекин электромагнит кучлар бир лаҳза бўлса ҳам таъсир қилмай қўйса ҳаёт ҳам бирдан тўхтайтиди.

Электромагнит кучлар зарраларнинг табиатдаги энг кичик системалар ҳисобланган атом ядроларидаги ўзаро таъсирида ҳам, космик жисмларнинг ўзаро таъсирида ҳам катта аҳамиятга

¹ Заиф ўзаро таъсирларда асосан элементар зарралар бир-бирига айланади.

Максвелл Жеймс Клерк (1831—1879)—улуф инглиз физиги, электромагнит майдон назариясининг ижодчиси. Ньютон қонунлари классик механиканинг асоси бўлгани каби, Максвеллнинг электромагнит майдонга оид тенгламалари бутун электродинамикага асос бўлган. Максвелл модда тузилишининг молекуляр-кинетик назариясининг асосчиларидан бири ҳамдир. У физиккага биринчи бўлиб эҳтимоллигининг математик тушунчасидан фойдаланадиган статистик қонунлар тўғрисидаги тасаввурларни киритган.

эга. Ҳолбуки, кучли ва заиф ўзаро таъсирларда жуда кичик¹ масштаблар соҳасидаги жараёнлар, гравитацион ўзаро таъсирларда эса космик масштабдаги (ҳеч бўлмаганда жисмларнинг биттаси космик ўлчамга эга бўлиши лозим) жараёнлар юз беради.

Атом қобиғининг тузилиши, атомлар бирикиб молекула ҳосил бўлиши (химиявий кучлар) ва макроскопик жисмлар ҳосил бўлиши ёлғиз электромагнит кучларга боғлиқ. Табиатда электромагнит кучлар таъсирига алоқадор бўлмаган ҳодисаларни топиш жуда қийин.

Жунга ишқаланган қаҳрабонинг енгил нарсаларни ўзига тортишидек қобилияти кашф этилишидан тортиб, улуф инглиз олими Жеймс Клерк Максвеллнинг ўзгарувчан электр майдон магнит майдон ҳосил қилса керак, деган фаразигача бўлган тасодифий кашфиётлар ва режали тадқиқотлар занжири туфайли электродинамика яратилди.

XIX асрнинг иккинчи ярмида электродинамика яратилгандан кейингина электромагнит ҳодисалар амалда кенг қўлланила бошлади. А. С. Поповнинг (1859—1906) радиони кашф этиши янги назария принципларининг муҳим амалий татбиқларидан бири бўлди.

Электродинамиканинг ривожланишида биринчи марта илмий тадқиқотлар техник татбиқларидан олдинда борди. Буғ машинаси иссиқлик жараёнлари назарияси яратилишидан анча олдин ясалган бўлса, электродинамика қонунлари кашф этилган ва ўрганилгандан кейингина электр двигатели ва радиоприёмник ясаш мумкин бўлди.

Электромагнит ҳодисаларнинг сон-саноксиз амалий татбиқлари бутун ер қуррасидаги одамлар турмушини ўзгартириб юборди. Ҳозирги замон цивилизациясини электр токи энергиясидан кенг фойдаланишсиз тасаввур этиб бўлмайди.

Бизнинг хоналаримиз деворларидаги розеткалар ҳозирги замон кишиси «хаёт маскани»нинг бир нишонасидирки, унинг инсонни тонг қолдирадиган имкониятларига кўникиб қолганмиз.

Бизнинг вазифамиз электромагнит ўзаро таъсирларнинг асосий қонунларини ўрганиш, шунингдек, электр энергиясини олиш ва бу энергияни амалда ишлатишни асосий усуллари билан танишишдир.

¹ Кучли ўзаро таъсирлар элементар зарралар орасидаги масофалар 10^{-12} см тартибда бўлганда намоён бўлади. Заиф ўзаро таъсирлар эса зарралар орасидаги масофа 10^{-16} см дан кичик бўлганда намоён бўлади.

ЭЛЕКТРОСТАТИКА

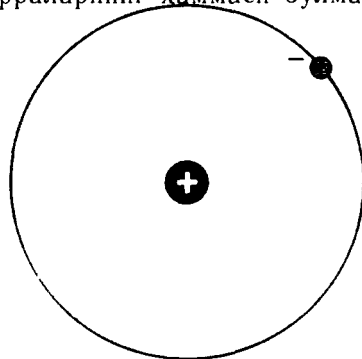
Даставвал электр зарядли жисмлар тинч турган энг оддий холни кўриб чиқамиз. Электродинамиканинг тинч турган электр зарядли жисмларни ўрганадиган бўлими электростатика деб аталади.

32- §. ЭЛЕКТР ЗАРЯДИ ВА ЭЛЕМЕНТАР ЗАРРАЛАР

Сиз электр, электр заряди, электр токи сўзларини кўп учратгансиз ва ҳозир уларга ўрганиб қолгансиз. Лекин «Электр заряди нима?» деб берилган саволга жавоб топмоқчи бўлсангиз, бунинг осон эмаслигини кўрасиз. Гап шундаки, *заряд* тушунчаси бизнинг билимларимизнинг ҳозирги босқичида бирор оддий, элементар тушунчаларга келтирилмайдиган асосий бирламчи тушунчадир.

Аввало «Муайян жисм ёки зарра электр зарядига эга», деганда нима тушунилишини аниқлаб олишга уриниб кўрайлик.

Маълумки, барча жисмлар янада оддийроқ зарраларга бўлинмайдиган жуда майда зарралардан тузилган, шунинг учун булар *элементар зарралар* деб аталади. Барча элементар зарралар массага эга бўлади, шу туфайли улар бутун олам тортишиш қонунига асосан бир-бирига тортилади. Тортишиш кучи улар орасидаги масофанинг квадратига тесқари пропорционал бўлади, яъни улар орасидаги масофа ортган сари куч камая боради. Бундан ташқари, элементар зарраларнинг ҳаммаси бўлмаса-да, ҳар қалай кўпчилиги тортишиш кучидан жуда кўп марта катта бўлган куч билан ўзаро таъсир қилиш қобилиятига эгаки, бу куч ҳам масофанинг квадратига тесқари пропорционал равишда ўзгаради. Масалан, 60- расмда схематик равишда тасвирланган водород атомида электрон ядрога (протонга) гравитацион тортишиш кучидан 10^{39} марта катта бўлган куч билан тортилади.



60-расм

Агар зарралар бир-бирига масофа ортганда камайдиган ва бутун олам тортишиш кучидан ғоят кўп марта катта бўлган кучлар билан таъсир қилса, *бу зарраларнинг электр заряди бор* дейилади. Зарраларнинг ўзи эса *зарядланган зарралар* деб аталади. *Электр зарядисиз зарралар бўлади, лекин заррасиз электр заряди бўлмайди.*

Зарядланган зарралар орасида бўладиган ўзаро таъсирлар электромагнит ўзаро таъсирлар деб аталади.

Масса гравитацион ўзаро таъсирлар интенсивлигини аниқлагани каби *электр заряди электромагнит ўзаро таъсирларнинг интенсивлигини аниқлайди.*

Элементар зарранинг электр заряди заррадан олиш, таркибий қисмларга ажратиш ва яна тўплаш мумкин бўладиган алоҳида бир «нарса» эмас. Электрон ва бошқа зарраларда электр заряди борлиги улар орасида маълум ўзаро таъсир кучлари борлигини билдиради, холос. Бирок, биз бу ўзаро таъсирларнинг конунларини билмасак аслида заряд тўғрисида ҳеч нарса билмаган бўламыз. Ўзаро таъсир конунларини билиш бизнинг заряд тўғрисидаги билимларимизнинг бир қисми бўлиши лозим. Бу конунлар оддий эмас, уларни бир неча сўз билан баён этиб бўлмайди. Шунинг учун ҳам *электр заряди* нима эканлигини бир-икки сўз билан қониқарли даражада таърифлаб бўлмайди.

Электр зарядларининг икки ишораси. Ҳамма жисмлар массага эга, шунинг учун улар бир-бирига тортилади. Зарядланган жисмлар эса бир-бирини тортиши ҳам, бир-бирини итариши ҳам мумкин. Сизга VIII синф физика дарслигидан маълум бўлган бу муҳим факт *табиатда электр зарядининг ишораси қарама-қарши бўлган зарралар борлигини билдиради; Зарядининг ишораси бир хил бўлганда зарралар бир-бирдан итарилади, ишораси қарама-қарши бўлганда зарралар бир-бирига тортилади.*

Ҳамма ядролар (атом ядролари) таркибига кирувчи элементар зарралар — *протонларнинг заряди мусбат* заряд деб, *электроннинг заряди манфий* заряд деб аталади. Мусбат зарядлар билан манфий зарядлар ўртасида ҳеч қандай ички фарқлар йўқ. Агар зарралар заряди ишораларининг ўринлари алмашиб қолса, бу билан электромагнит ўзаро таъсирларнинг характери ҳеч қанча ўзгармаган бўлар эди.

Элементар заряд. Электрон ва протонлардан ташқари, зарядли элементар зарраларнинг яна бир неча тури бор. Лекин фақат электрон ва протонларгина истаганча узок вақт давомида эркин ҳолатда мавжуд бўла олади. Зарядли зарраларнинг бошқа турлари эса секунднинг миллиондан бир улушлари давомидагина яшай олади. Улар тез ҳаракатланувчи элементар зарралар тўқнашганда пайдо бўлади ва жуда қисқа вақт яшаб, парчаланиб, бошқа зарраларга айланади. Сиз бу зарралар билан XI синфда танишасиз.

Электр зарядига эга бўлмаган зарралар жумласига нейтрон қиради. Унинг массаси протоннинг массасидан салгина ортик.

Нейтронлар протонлар билан биргаликда атом ядроси таркибига киради.

Агар элементар зарранинг заряди бор экан, кўп тажрибаларнинг кўрсатишича, бу заряд катъий аниқ катталikka эга бўлади. Бундай тажрибалардан бири бўлмиш Милликен ва Иоффе тажрибаси тўғрисида кейинроқ гапирилади.

Ҳамма зарядли элементар зарралар эга бўладиган ва элементар заряд деб аталадиган энг кичик заряд бор. Элементар зарраларнинг зарядлари бир-бирдан фақат ишораси билан фарк қилади. Элементар заряднинг бир қисмини, масалан, электрон зарядининг бир қисмини ажратиб олиш мумкин эмас. Электр заряди тўғрисидаги ҳамма маълумотлар тажрибадан олинади.

- ! 1. Қандай ўзаро таъсирлар электромагнит ўзаро таъсирлар деб аталади? 2. Элементар заряд нима? 3. Мусбат зарядланган элементар зарраларни ва манфий зарядланган элементар зарраларни айтинг.

33- §. ЗАРЯДЛАНГАН ЖИСМЛАР. ЖИСМЛАРНИНГ ЭЛЕКТРЛАНИШИ

Қандай қилиб макроскопик жисмлар электр заряди олади? Ҳозир шу тўғрисида сўз юритамиз.

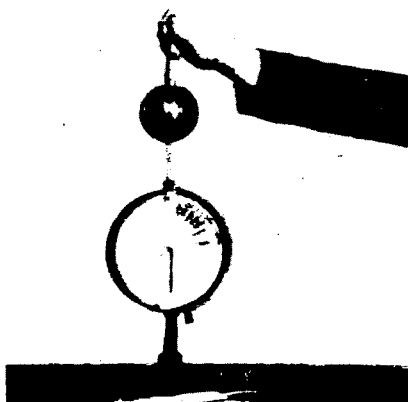
Ҳамма жисмлар таркибида электр зарядли зарралар бўлгани туфайли электромагнит кучлар табиатда жуда катта аҳамиятга эга. Атомнинг таркибий қисмлари бўлмиш ядро ва электронлар электр зарядига эгадир.

Жисмлар ўртасида электромагнит кучларнинг таъсири бевосита сезилмайди, чунки одатдаги ҳолатда жисмлар электр жиҳатдан нейтрал бўлади. Ҳар қандай модданинг атоми нейтралдир, чунки атомдаги электронлар сони ядродаги протонлар сонига тенг. Мусбат зарядли зарралар билан манфий зарядли зарралар бир-бирига электр кучлари билан боғланган бўлиб, улар нейтрал системалар ҳосил қилади.

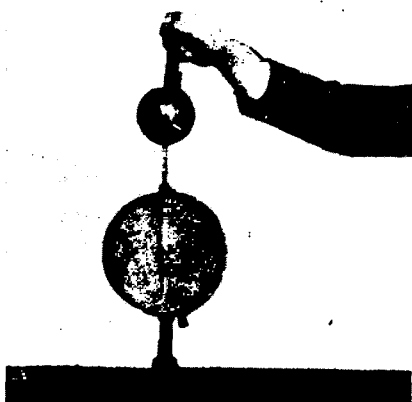
Макроскопик жисмда бир хил ишорали зарядга эга бўлган элементар зарралар ортиқ бўлган ҳолда бу жисм электр жиҳатдан зарядланган бўлади. Жисмда электронлар протонлардан кўп бўлса, жисмнинг заряди манфий бўлади, электронлар етишмаса, жисмнинг заряди мусбат бўлади.

Макроскопик жисмни электр жиҳатдан зарядлаш, яъни уни *электрлаш* учун бир қисм манфий зарядни у билан боғланган мусбат заряддан¹ ажратиш керак. Жисмларни бир-бирига ишқалаб электрлаш мумкин. Агар қуруқ соч тароқ билан бир неча марта таралса, жуда ҳаракатчан зарядли зарралар бўлган

¹ Бу ерда ва бундан буён биз қисқалик учун «зарядлар», «зарядларнинг кўчиши» ва «доза»лар тўғрисида гапирамиз. Аслида эса бу ҳолда «зарядланган жисм (ёки зарра)», «зарядланган зарраларнинг кўчиши» ва «доза»лар назарда тутилади, чунки заррасиз заряд бўлмайди.



61 а-расм



61 б-расм

электронлар бир қисми сочдан тарокка ўтиб, уни манфий зарядлайди, соч эса мусбат зарядланиб қолади.

Электрлашда зарядларнинг тенг бўлиши. Ишкалаб электрлашганда иккала жисм ишораси карама-қарши бўлган, бироқ модули тенг бўлган зарядлар олишини тажрибада исбот қилиш мумкин. Стерженига тешиги бор металл сфера ўрнатилган электрометр¹ ва бири эбонитдан, иккинчиси плексигласдан ишланган узун дастали иккита пластинка оламиз. Бир-бирига ишқаланганда пластинкалар электрланади. Пластинкалардан бирини сферага тегизмасдан сфера ичига киритамиз. Агар пластинка мусбат зарядланган бўлса электрометр стрелкасидаги ва стерженидаги электронларнинг бир қисми пластинкага тортилиб, сферанинг ички юзига тўпланади. Бунда стрелка мусбат зарядланиб, стержендан итарилади (61, а-расм). Агар биринчи пластинкани четга олиб қўйиб, сфера ичига иккинчи пластинка киритилса, сферадаги ва стержендаги электронлар пластинкадан итарилиб, стрелкада ортикча даражада тўпланади. Бунинг оқибатида стрелка олдинги тажрибадагидек бурчакка оғади. Агар сферага иккала пластинка баравар киритилса, стрелка оғмай туради (61, б-расм). Бу ҳол пластинкаларнинг заряди модули жиҳатидан тенг, ишора жиҳатидан карама-қарши эканлигини исботлайди.

Жисмларнинг электрланиши ва бу ҳодисадан техникада фойдаланиш. Синтетик матолар ишқаланганда электрланиш кучлироқ бўлади. Курук ҳавода нейлон қўйлакни ечганда чарсиллаган товуш чиқади. Ишқаланувчи сиртларнинг зарядланган қисмлари орасида майда учқунчалар чиқади. Ишлаб чиқариш корхоналарида бундай ҳодисаларни эътиборга олишга тўғри

¹ Электрометрнинг тузилиши 48- § да муфассал баён этилади. Электрометрнинг ишлаш принципида ва VIII синф физика дарслигида тавсиф этилган электроскопнинг ишлаш принципида муҳим фарқ йўқ.

келади. Масалан, тўқимачилик фабрикаларида иплар ишқаланиш ҳисобига электрланиб қолиб, урчук ва ғалтакларга тортилиб узилади. Йигирилган ип ўзига чанг тортиб кирланади. Ипларнинг электрланиб қолишига қарши махсус чоралар кўришга тўғри келади.

Жисмларнинг жипс текканда электрланиши ҳодисасидан замонавий нусха кўчириш қурилмаларида («Эра», «Ксерокс» ва бошқаларда) фойдаланилади.

Агар макроскопик жисмда бир хил ишорали элементар зарядлар сони ортиқча бўлса, бу жисм электр жихатдан зарядланган бўлади. Жисмда электронлар протонлардан кўп бўлса жисм манфий зарядланган бўлади, электронлар етишмаса, жисмнинг заряди мусбат бўлади.

!

1. Жисмларнинг электрланиши юз берадиган ҳодисаларга кундалик турмушдан мисоллар келтиринг. 2. Нима учун бензин ташишда цистернага ерга тегиб турадиган темир занжир боғлаб қўйилади.

34-§ ЭЛЕКТР ЗАРЯДИНИНГ САҚЛАНИШ ҚОНУНИ

Сиз жисмларнинг массаси сақланишини биласиз. Электр заряди ҳам сақланади. Айнан заряд сақланади, зарядли зарралар сони эмас.

Пластинкаларнинг электрланишига оид тажрибалар шуни исбот қиладик, дастлабки пайтда нейтрал бўлган жисмлардаги зарядлар ишқалаб электрлашда қайта тақсимланади. Электронларнинг озроқ қисми бир жисмдан иккинчисига ўтади. Бунда янги зарядли зарралар пайдо бўлмайди, олдин бор бўлганлари йўқолмайди.

Жисмларни электрлашда *электр зарядининг сақланиш қонуни* бажарилади. Бу қонун ташқаридан зарядли зарралар кирмайдиган ва ташқарига бундай зарралар чиқмайдиган система учун, яъни *ёпиқ система* учун ўринлидир. *Ёпиқ системада барча зарралар зарядларининг алгебраик йиғиндисига ўзгармай қолаверади.* Агар зарраларнинг зарядини q_1 , q_2 ва ҳоказо билан белгиланса, у ҳолда

$$q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n = \text{const.} \quad (7.1)$$

Заряднинг сақланиш қонунининг маъноси жуда чуқур. Агар зарядли элементар зарраларнинг сони ўзгармаса, заряднинг сақланиш қонуни тўғри бўлиши равшан. Лекин элементар зарралар бир-бирига айланиши, янгидан пайдо бўлиши ва янги зарраларга ўрин бўшатиб йўқолиши мумкин¹. Бироқ ҳамма

¹ Бу тўғрида XI синф физика дарслигида муфассал тўхталамиз.

холларда зарядли зарралар жуфт-жуфти билан пайдо бўлади, булар заряднинг модули тенг ва ишораси карама-қарши бўлади. Зарядли зарралар нейтрал зарраларга айланишда ҳам фақат жуфт-жуфти билан йўқолади. Ҳамма холларда зарядларнинг йиғиндиси айни бир хил бўлганича қолаверади.

Элементар зарраларнинг бир-бирига айланишлари устида ўтказилган жуда кўп кузатишлар заряднинг сақланиш қонуни тўғри эканлигини тасдиқлайди. Бу қонун электр заряднинг энг асосий хоссаларидан бирини ифодалайди. Заряднинг нима сабабдан сақланиши ҳалигача маълум эмас.

Коинотда электр заряди сақланади. Коинотнинг тўлиқ электр заряди ҳойнаҳой нолга тенг; мусбат зарядланган элементар зарралар сони манфий зарядланган элементар зарядлар сонига тенг.

- ! 1. Электр заряднинг сақланиш қонунини таърифлаб беринг. 2. Заряд сақланиши кузатиладиган ҳодисаларга мисоллар келтиринг.

35-§. ЭЛЕКТРОСТАТИКАНИНГ АСОСИЙ ҚОНУНИ — КУЛОН ҚОНУНИ

Энди электромагнит ўзаро таъсирларни миқдорий томондан гавсифланиш қонунларини ўрганишга киришамиз. Электростатиканинг асосий қонуни — зарядланган иккита кўзғалмас нуктавий жисм ёки зарра орасидаги ўзаро таъсир қонунидир.

Бу қонунни француз физиги Шарль Кулон 1785 йилда гажрибада топган, шунинг учун бу қонун унинг номи билан аталади.

Табиатда нуктавий зарядланган жисмлар йўқ. *Лекин жисмлар орасидаги масофа уларнинг ўлчамларидан кўп марта ортиқ бўлса, зарядланган жисмларнинг шакли ҳам, ўлчамлари ҳам улар орасидаги ўзаро таъсирга сезиларли таъсир қилмайди. Бу ҳолда жисмларни нуктавий жисмлар деб ҳисоблаш мумкин.* Бутун олам тортишиш қонуни ҳам нуктавий жисмлар учун таърифланганини эсга олинг.

Зарядли жисмларнинг ўзаро таъсир кучи бу жисмлар орасидаги муҳитнинг хоссаларига боғлиқ. Ҳозирча зарядли жисмлар вакуумда ўзаро таъсир қилишяпти деб ҳисоблаймиз. Лекин тажрибанинг кўрсатишича, ҳаво зарядли жисмларнинг ўзаро таъсир кучига жуда кам таъсир кўрсатади: ўзаро таъсир кучи ҳавода деярли вакуумдагидек бўлар экан.

Кулон тажрибалари. Электр зарядлари орасидаги ўзаро таъсир кучлари катта бўлгани туфайли электр зарядларининг ўзаро таъсир қонуни осонгина топилган. Бу ерда жуда сезгир асбоблар ишлатишга эҳтиёж туғилмаган, холбуки бутун олам тортишиш қонунини Ерда текшириб кўришда жуда сезгир асбоблар ишлатишга тўғри келган эди. Зарядли кўзғалмас жисмлар бир-бири билан қандай ўзаро таъсир қилиши буралма тарозидан аниқланди.

Кулон Шарль Огюстен (1736—1806) — ўзининг электр ва магнетизмга оид асарлари ҳамда ишқаланиш кучларини тадқиқ этиши билан машҳур бўлган француз олими. Кулон зарядли жисмларнинг ўзаро таъсирини ўрганиш билан бир қаторда узун магнитлар қутбларининг ўзаро таъсирини ҳам тадқиқ этган.



Буралма тарози ингичка эластик симга осиб қўйилган шиша таёқчадан иборат (62-расм). Таёқчанинг бир учига кичкина a метал шарча, иккинчи учига c посанги маҳкамлаб қўйилган. Яна бир b металл шарча тарозининг қопқоғига қимирламайдиган килиб ўрнатилган.

Шарчаларга бир хил ишорали зарядлар берилганда улар биридан итарилади. Шарчаларни тайинли бир масофада тутиб туриш учун эластик симни бирор бурчакка буришга тўғри келади. Симнинг бурилиш бурчагига қараб шарчаларнинг ўзаро таъсир кучи аниқланади.

Буралма тарози зарядли шарчалар орасидаги ўзаро таъсир кучининг зарядларга ва улар орасидаги масофага боғлиқлигини ўрганишга имкон беради. У замонларда куч ва масофани ўлчай билганлар. Ягона қийинчилик заряднинг ўзини ўлчашда бўлган, уни ўлчаш учун ҳатто бирликлар ҳам бўлмаган. Кулон шарчалардан бирининг зарядини 2, 4 ва ҳоказо марта ўзгартиришнинг содда усулини топди, бунинг учун у шарчани зарядсиз худди шундай бошқа шарчага улади. Бунда заряд шарчаларга тенг тақсимланган, натижада текширилаётган заряд маълум нисбатда камайган. Кучнинг янги зарядга муносиб янги қиймати тажрибада топилган.

Кулон қонуни. Кулон тажрибалари туфайли бутун олам тортишиш қонунига ўхшашлиги билан кишини ҳайратда қолдирадиган қонун кашф этилган. *Вакуумда жойлашган зарядли қўзғалмас нуқтавий икки жисмнинг ўзаро таъсир кучи уларнинг зарядлари модулларининг кўпайтмасига тўғри пропорционал ва улар орасидаги масофанинг квадратига тесқари пропорционал.* Бу куч *Кулон кучи* деб аталади.

Зарядларнинг модулларини $|q_1|$ ва $|q_2|$ билан, улар орасидаги масофани r билан белгиласак, Кулон қонуни

$$F = k \frac{|q_1| |q_2|}{r^2} \quad (7.2)$$

шаклида ёзилади, бу ерда k — пропорционаллик коэффициенти; k коэффициент сон жиҳатдан ораларидаги масофа узунлик

бирлигига тенг бўлган бирлик зарядларнинг ўзаро таъсир кучига тенг. Бу коэффициентнинг қиймати қандай бирликлар системаси олинганига боғлиқ.

Бутун олам тортишиш қонунининг шакли ҳам худди (7.2) каби бўлади, фақат тортишиш қонунинда зарядлар ўрнида масса қатнашади. k коэффициент ўрнида эса гравитацион доимий туради.

Ипга осиб қўйилган зарядли иккита шарча бир-бирига тортилади ёки бир-бирдан итарилади. Бундан *зарядли қўзғалмас иккита нуқтавий жисм орасидаги ўзаро таъсир кучлари бу жисмларни тунташтирувчи тўғри чизиқ бўйлаб йўналган*, деган хулоса чиқади (63- расм). Бундай кучлар марказий кучлар деб аталади. Ньютоннинг учинчи қонунига асосан, $\vec{F}_{1,2} = -\vec{F}_{2,1}$.

Кулон қонунининг кашф этилиши электр зарядининг хоссаларини ўрганиш йўлидаги дастлабки кадамдир. Жисмларда ёки элементар зарраларда электр зарядининг борлиги уларнинг бир-бирига Кулон қонунига мувофиқ равишда таъсир кўрсатишини билдиради.

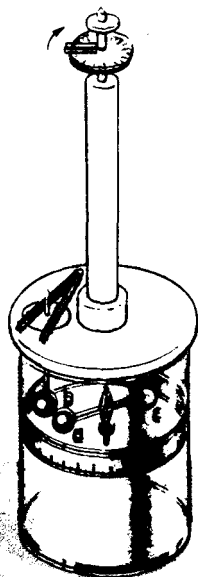
?

1. Бутун олам тортишиш қонуни билан Кулон қонунининг ўхшашлиги ва фарқи нимада?
2. Электр зарядини қачон нуқтавий заряд деб ҳисоблаш мумкин?

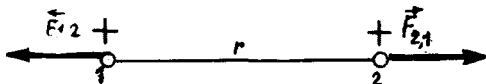
36-§. ЭЛЕКТР ЗАРЯДИНИНГ БИРЛИГИ

Электр заряди деб аталган янги физик катталиқ киритилди. Бу катталиқ учун бирлик танлаб олиш керак. Бу танлаш бошқа физик катталикларнинг бирлигини танлаш каби ихтиёрий равишда бўлиши лозим. Бу ерда гап фақат қандай бирлик мақсадга мувофиқ эканлигидадир.

Электр зарядининг бирлиги қилиб масса эталони — килограммга ўхшаш макроскопик эталон танлаш мумкин эмас, чунки заряд муқаррар равишда оқиб кетиб туради. Заряд бирлиги сифатида электрон зарядини қабул қилиш табиий бўлар эди (ҳозир атом физикасида худди шундай ки-



62-расм



63-расм

линган). Лекин, электроннинг заряди жуда кичик, шунинг учун уни заряд бирлиги сифатида ишлатиш ҳамма вақт ҳам қулай бўлавермайди.

Заряд бирлиги — кулон. Халқаро бирликлар системасида (СИ) заряд бирлиги асосий бирлик бўлмай, ҳосилавий бирликдир ва унинг учун эталон белгиланмайди. СИ да метр, секунд ва килограмм билан бир қаторда электр катталикларни ўлчашнинг яна бир асосий бирлиги, яъни ток кучи бирлиги — *ампер* ишлатилади. Ампернинг эталон қиймати тоқларнинг магнит ўзаро таъсирлари орқали аниқланади. Бу тўғрида VIII синф физика дарслигида айтилган эди.

СИ да заряднинг *кулон* деб аталган бирлиги ток кучининг бирлиги орқали аниқланади. *1 кулон (Кл)* — ток кучи *1 А* бўлганда ўтказгичнинг қўндаланг кесимидан *1 с* ичида ўтадиган заряддир.

Кулон қонуни СИ бирликларида ифодаланганда ундаги *k* коэффициент $\frac{Н \cdot м^2}{Кл^2}$ билан ифодаланади, чунки (7.2) формулага асосан,

$$k = \frac{F r^2}{|q_1| |q_2|} \quad (7.3)$$

бўлиб, зарядларнинг ўзаро таъсир кучи нютон ҳисобида, масофа метр ҳисобида ва заряд кулон ҳисобида ифодаланади. Бу коэффициентнинг сон қийматини тажрибадан аниқлаш мумкин. Бунинг учун бир-биридан маълум бир *r* масофада турган иккита маълум заряд ўртасидаги ўзаро таъсир кучини ўлчаш ҳамда *F*, *r*, $|q_1|$ ва $|q_2|$ ларнинг қийматларини (7.3) формулага қўйиш лозим. *k* нинг топилган қиймати қуйидагига тенг:

$$k = 9 \cdot 10^9 \frac{Н \cdot м^2}{Кл^2} \quad (7.4)$$

1 Кл жуда катта заряд. Ҳар бири 1 Кл дан бўлган иккита нуқтавий заряд орасидаги масофа 1 км бўлганда улар ўртасидаги ўзаро таъсир кучи массаси 1 т бўлган юкнинг Ерға тортилиш кучидан салгина кичик бўлади. Шунинг учун ўлчамлари бир неча метр чамасида бўлган чоғрок жисмга 1 Кл заряд бериб бўлмайди. Чунки зарядли зарралар бир-биридан итарилиб, жисм сиртида туриб қололмайди. Бу шароитда зарядларнинг бир-бирини итариш кучини (Кулон кучини) мувозанатлайдиган ҳеч қандай бошқа куч табиатда йўқ. Лекин бутунича нейтрал бўлган ўтказгичда 1 Кл зарядни ҳаракатга келтириш қийин эмас. Қуввати 100 Вт бўлган одатдаги электр лампочкасида 127 В кучланишда 1 А дан салгина кам ток қарор топади. Бу ҳолда 1 с ичида ўтказгичнинг қўндаланг кесимидан деярли 1 Кл заряд ўтади.

Табиатда мавжуд бўлган энг кичик заряд элементар зарраларнинг зарядидир. СИ бирликларида бу заряднинг модули қуйидагига тенг:

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл.} \quad (7.5)$$

Электр доимийси. СИ да k коэффициент

$$k = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \quad (7.6)$$

шаклида ёзилади.

ϵ_0 миқдор (ϵ — грекча ҳарф, «эпсилон» деб ўқилади) *электр доимийси* деб аталади. ϵ_0 нинг қиймати қуйидагига тенг:

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}. \quad (7.7)$$

Бундан буён биз формулалар ёзувини оддийроқ қилиш учун формулаларда k нинг (7.6) ифодасини эмас, балки ўзини ёзамиз (зарур бўлган ҳолларгина бундан мустаснодир).

СИ да заряднинг бирлиги — кулон ток кучининг бирлиги — ампер ёрдамида белгиланади. Элементар электр заряди $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

- ❓ 1. Заряд бирлиги қандай таърифланади? 2. Протоннинг заряди нимага тенг? 3. Кулон қонунидаги k коэффициент нимага тенг?

МАСАЛА ЕЧИШ НАМУНАЛАРИ

Кулон конунининг татбикига доир масалаларни ечишда IX синф механика курсидаги масалаларни ечиш усуллари қўлланилади. Фақат Кулон кучининг йўналиши ўзаро таъсирлашаётган жисмлар зарядларининг ишораларига боғлиқ эканлигини назарда тутиш керак. Ундан ташқари, бир катор масалаларда заряднинг сақланиш конунидан ва электр зарядининг энг кичик бўлаги, яъни элементар зарра зарядининг модули $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл эканлигидан фойдаланилади.

1. Массаси $m = 0,03$ г бўлган сув томчисида қанча электрон бор? Сув молекуласининг массаси $m_0 = 3 \cdot 10^{-23}$ г.

Ечилиши. Сув молекуласи H_2O да 10 та электрон бор. Сув томчисида $\frac{m}{m_0} = 10^{21}$ дона молекула бор, бинобарин, 10^{22} та электрон бор.

2. Узунлиги $l = 2,0$ м бўлиб, бир нуқтага боғланган ипга иккита бир хил шарча осиб қўйилган. Шарчаларнинг ҳар бирига $q = 2,0 \cdot 10^{-8}$ Кл дан заряд берилганда улар бир-биридан $r = 16$ см масофага қочган. Ҳар бир ипнинг таранглиниш кучини аниқланг.

Ечилиши. Ҳар бир шарчага учта куч таъсир қилади: оғирлик кучи mg , ипнинг эластиклик кучи $\vec{F}_{эл}$ ва Кулон кучи \vec{F} (64- расм).

Шарча қимирламай турибди: бинобарин, кучларнинг Ox ва Oy ўқлардаги проекциялари йиғиндиси нолга тенг. Кучларнинг Ox ўқдаги проекцияларининг йиғиндиси нолга тенг бўлиш шарт бу ҳолда

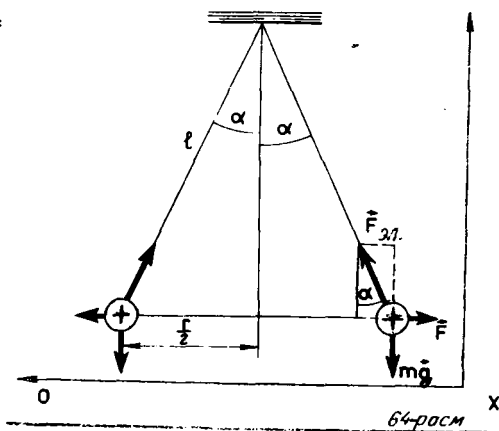
$$F - F_{эл} \sin \alpha + mg \cos 90^\circ = 0 \text{ кўринишда бўлади.}$$

$$\sin \alpha = \frac{r}{2l} \text{ ва } F = k \frac{q^2}{r^2} \text{ бўлгани учун}$$

$$F_{эл} = \frac{F}{\sin \alpha} = \frac{F \cdot 2l}{r} =$$

$$= k \frac{q^2 \cdot 2l}{r^3} \approx 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ Н.}$$

Ип тахминан $3,5 \cdot 10^{-3}$ Н га тенг куч билан тортилиб туради.



7- МАШҚ

1. Ипакка ишқаланган шиша таёқча мусбат зарядланади. Мовутга ишқаланган пластмасса ручка заряднинг ишорасини тажрибада аниқланг.

2. Водород атомида электроннинг ядро билан бўладиган ўзаро таъсир кучини аниқланг. Электрон билан ядро орасидаги масофа $0,5 \cdot 10^{-8}$ см.

3. Водород атомида электрон билан ядро орасида бўладиган ўзаро таъсир Кулон кучи улар орасидаги гравитацион ўзаро таъсир кучидан қанча марта катта? Электроннинг массаси $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31}$ кг, протоннинг массаси $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27}$ кг. Гравитацион доимий $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$ Н·м²/кг².

4.* Агар массаси 0,03 г бўлган сув томчисидagi барча электронларнинг 1 % ини иккинчи томчига ўтказиш мумкин бўлганда бу икки томчи 1 км масофада қандай куч билан ўзаро таъсирлашган бўлар эди?

5. Иккита бир хил шарча бир-биридан 40 см масофада турибди. Булардан бирининг заряди $9 \cdot 10^{-9}$ Кл, иккинчисининг заряди $2 \cdot 10^{-9}$ Кл. Шарчалар бир-бирига теккизилиб, кейин яна олдинги ўрнига келтирилган. Шарчалар бир-бирига теккизилишдан олдинги ва ундан кейинги ўзаро таъсир кучларини аниқланг.

6. $1,0 \cdot 10^{-8}$ Кл ва $2,0 \cdot 10^{-8}$ Кл нуқтавий зарядлар вакуумда бир-биридан 1 м масофада қимирламайдиган қилиб қўйилган. Бу зарядларни туташтирувчи тўғри чизиқда уларнинг иккаласидан бир хил масофага заряди — $3 \cdot 10^{-9}$ Кл бўлган чоғроқ жисм қўйилган. Жисмга таъсир этувчи кучнинг модули ва йўналиши қандай.

37-§. ЯҚИНДАН ТАЪСИР ҚИЛИШ ВА ОЛИСДАН ТАЪСИР ҚИЛИШ

Кўзгалмас электр зарядларининг ўзаро таъсирлашувчи қонуни тажрибада аниқланган. Аммо бу ўзаро таъсир қандай бўлади, деган масала ҳал қилинмай қолди. Биз шу масалани ойдинлаштириш билан машғул бўламиз.

Яқиндан таъсир қилиш. Бир жисмнинг ундан бирор масофада турган бошқа жисмга кўрсатадиган таъсирини кузатганимизда

Биз бу таъсирни тўғри ва бевосита таъсир деб ҳисоблашдан олдин жисмлар орасида бирор моддий боғланиш, яъни ип, стержень ва шу кабилар йўқмикин, деган мулоҳазага борамиз. Агар бундай боғланишлар бор бўлса, бир жисм бошқа жисмга ана шу оралик звенолар орқали таъсир қилади, деб ҳисоблаймиз. Масалан, ҳозирги вақтда кам учрайдиган эски автобусларнинг ҳайдовчиси эшик очадиган дастанни бурганида боғловчи стерженнинг кетма-кет қисмлари сикилиб то эшик очилгунча ҳаракатда бўлади.

Замонавий автобусларда эса ҳайдовчи эшикни очиш учун махсус найлардан цилиндрга сиқилган ҳаво юборади, бу цилиндр эшик механизмини бошқаради. Бу мақсадда электромотордан фойдаланиш ҳам мумкин.

Эшик очишнинг учала усулида ҳам бир умумийлик бор ҳайдовчи билан эшик ўртасида узлуксиз боғловчи восита борки, унинг ҳар бир нуктасида бирор физик жараён юз беради. Куч таъсири ана шу нуктадан нуктага ўтиб борадиган жараён воситасида бир онда эмас, балки бирор тезлик билан узатилади.

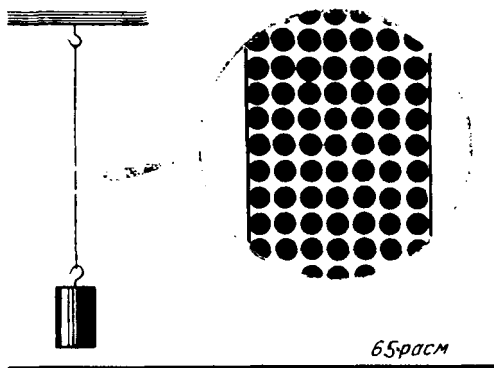
Шундай қилиб, бир-биридан қандайдир бир масофада турган жисмлар ўртасида таъсир кўп ҳолларда оралик звеноларнинг борлиги туфайли узатилади. Шундай экан, ўзаро таъсир қилишувчи жисмлар ўртасида ҳеч қандай муҳит, ҳеч қандай восита кўринмаганда ҳам, улар ўртасида бирор оралик звено бор деб фараз қилиш ўринли бўлмасмикин? Акс ҳолда жисм ўзи йўқ жойда таъсир қилади, деб ҳисоблашга тўғри келади.

Хавонинг хоссаларини яхши билмаган киши ўз суҳбатдошининг оғзи ёки овоз пайчалари унинг кулоқларига бевосита таъсир қилади деб ўйлаши, товушни кўзга кўринмас муҳит узатишга қандайдир мутлақо ажабланарли бир ҳол деб қараши мумкин. Бирок товуш тўлқинларининг бутун тарқалиш жараёнини текшириш ва уларнинг тезлигини ҳисоблаб топиш мумкин.

Бир-биридан маълум масофада турган жисмлар орасидаги ўзаро таъсир ҳамма вақт шу ўзаро таъсирни нуктадан-нуктага узатувчи оралиқ звенолар (ёки муҳит) воситасида узатилади, деган фараз яқиндан таъсир қилиш назариясининг моҳиятидир.

Яқиндан таъсир қилиш назариясининг тарафдорлари бўлган кўп олимлар гравитацион ва электромагнит кучларнинг пайдо бўлишини изоҳлаш учун сайёра ва магнитлар атрофида бўладиган кўзга кўринмас оқимлар, электрланган жисмлар атрофидаги кўзга кўринмас атмосфералар тўғрисида фикр юритишган. Бу мулоҳазаларнинг баъзилари жуда чуқур мулоҳазалар бўлишига қарамай, улар фан учун ҳеч қандай наф келтирмаган.

Олисан таъсир қилиш. Ньютон бутун олам тортишиш қонунини кашф этгунга қадар олимлар пуч мулоҳазалар устида бош қотираверганлар; лекин Ньютон ҳам бутун олам тортишиш қонунининг сабабларини очиб бермаган. Шундан кейин Қуёш системасини тадқиқ этиш соҳасида эришилган ютуқлар олимлар хаёлини шунчалик чулғаб олдики, уларнинг кўпчилиги бир



жисмдан иккинчи жисмга ўзаро таъсир узатувчи бирор восита излашнинг кери раги ҳам йўқ, деган фикр томонига ўтиб олдилар.

Олисдан бевосита бўшлик орқали тўппа-тўғри таъсир қилиш назарияси пайдо бўлди. Бу назарияга асосан таъсир ҳар қандай олис масофага бир онда узатилади. Жисмлар бири-бирининг борлигини ораларида бирор муҳит бўлмаганда ҳам «сеза олади». Олисдан таъсир қилиш на-

зариясининг тарафдорлари жисм ўзи йўқ ерда таъсир қилиши фикридан ҳижолат тортманглар. «Магнит ёки электрланган таёқча жисмларни бевосита бўшлик орқали тортишни кўрмаётирсизларми, ахир?» — деб мулоҳаза юритганлар улар. Бунда, масалан, магнитни қоғозга ўраб ёки ёғоч кути ичига солиб қўйсақ, магнитнинг тортишиш кучи сезиларли ўзгармайди. Бунинг устига, бизга жисмлар бир-бирига бевосита текканда ўзаро таъсир қилишгандек туюлса ҳам, аслида ундай эмас. Жисмлар бир-бирига ҳар қанча жипс текканда ҳам орасида жуда кичик оралик қолади. Масалан, учига юк боғлаб қўйилган ип таркибидаги айрим-айрим атомлар орасида ҳеч нарса бўлмаса ҳам, юк бу ипни узиб юбормайди-ку (65-расм). Олисдан бўладиган таъсир — таъсирлашувнинг ҳамма ерда учрайдиган ягона усулидир.

Яқиндан таъсир қилиш назариясига қарши қаратилган эътирозлар жуда кучли бўлган. Бунинг устига, уларни электр зарядлари ва электр тоқларининг ўзаро таъсир қонуларини кашф этган ва олисдан таъсир қилиш назариясининг содик тарафдорлари бўлган Кулон ва Ампернинг ажойиб ютуқлари тасдиқланган ҳам.

Агар фан тўғри чизик бўйлаб ривожланганда эди, олисдан таъсир қилиш назарияси гўё муқаррар равишда зафар қозонган бўлар эди. Лекин ҳақиқатда фан винтга ўхшаган чизик бўйлаб тараққий этади. Фан унинг бир ўрамини босиб ўтгач, яна олдинги тасаввурларга қайтилади, лекин энди буларга анча юқори рақ савияда қаралади. Молекуляр-кинетик назариянинг ривожланишида ҳам худди ана шундай бўлган. Демокритнинг атом гипотезаси бир вақтлар кўпчилик олимлар томонидан инкор этилган. Кейинчалик эса бу гипотеза тўғри математик шаклда яна тикланди ва тажрибада исбот этилди.

Электр зарядлари ва электр тоқлари орасидаги ўзаро таъсир қонуларининг кашф этилишидаги ютуқлар олисдан таъсир қилиш тўғрисидаги тасаввурлар билан узвий равишда боғлиқ бўлмаган.

Чунки кучларнинг ўзини тажрибада аниқлаш бу кучлар қандай узатилиши кераклиги тўғрисида маълум тасаввурлар бўлишини талаб қилмайди. Аввал кучларнинг математик ифодасини топиш лозим бўлиб, уларнинг табиатини кейинчалик аниқлаш ҳам мумкин эди.

Олисдан таъсир қилиш назариясига мувофиқ, бир жисм иккинчи жисмга бевосита бўшлиқ орқали таъсир қилади ва бу таъсир бир зумда узатилади. *Яқиндан таъсир қилиш назарияси* ҳар қандай ўзаро таъсир орқалик агентлар воситасида узатилади ва чекли тезлик билан тарқалади, деб даъво қилгди.

- ! 1. Сизнинг фикрингизча яқиндан таъсир қилиш назарияси жозибалироқми ёки олисдан таъсир қилиш назариясими? Нима учун? 2. Олисдан таъсир қилиш назариясининг яқиндан таъсир қилиш назариясидан кучли томонлари нимада?

38-§. ЭЛЕКТР МАЙДОН

Узоқ давом этган курашдан сўнг *яқиндан таъсир қилиш* назарияси узил-кесил ғалаба қозонди. Бунинг қандай бўлганини қисқача гапириб ўтамиз, шунингдек электр майдон нима эканини ҳам айтиб ўтамиз.

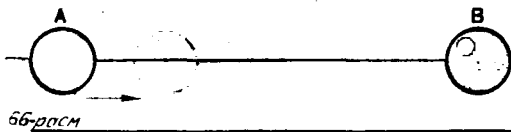
Фарадей ғоялари. Улуғ инглиз олими Майкл Фарадей яқиндан таъсир қилиш тасаввурлари томон кескин бурилиш ясади. Максвелл бу тасаввурларни ниҳоясига етказди.

Олисдан таъсир қилиш назариясига биноан, бир заряд иккинчисининг борлигини бевосита «сезади». Зарядлардан бири, масалан, *A* заряд (66-расм) силжиганда иккинчи *B* зарядга таъсир қилувчи куч ўз кийматини дарҳол ўзгартиради. Лекин бунда ва *B* заряднинг ўзида, на унинг атрофидаги фазода ҳеч қандай ўзгариш юз бермайди.

Фарадейнинг ғоясига асосан эса, *электр зарядлари бир-бирига бевосита таъсир қилмайди. Улардан ҳар бири атрофидаги фазода электр майдони ҳосил қилади. Бир заряднинг майдони иккинчи зарядга таъсир қилади, иккинчисининг майдони биринчи зарядга таъсир қилади. Заряддан узоқлашилган сари майдон заифлаша боради.*

Дастлаб бу ғоя Фарадейнинг бир жисмнинг таъсири иккинчисига бўшлиқ орқали узатила олмайди, деган ишончинигина ифодалаган.

Майдоннинг бор эканлиги исботланган эмас эди. Фақат кўзгалмас зарядларнинг ўзаро таъсирини текшириш билан майдоннинг борлигини исботлаб бўлмайди. Ҳаракатланувчи зарядли зарраларнинг электромагнит ўзаро таъсирларини ўрганилгандан кейингина яқиндан таъсир қилиш назария-





Фарадей Майкл (1791—1867) — электромагнит ҳодисалар тўғрисидаги умумий назариянинг ижодчиси бўлган улуғ инглиз олими; бу назарияда ҳамма ҳодисалар ягона нуқтан назардан текширилади. Электр ва магнит майдонлар тўғрисидаги тасаввурларни биринчи бўлиб Фарадей киритди. «Математикларга олисдан таъсир қилиш кучлари тўпланган марказлар кўринган жойда Фарадей оралиқ агентни кўрган. Математиклар электр флюидаларга (яъни ҳозирги замон нуқтан назарида — зарядларга) таъсир этувчи кучларнинг тақсимот қонунини топганларига қанот ҳосил қилиб, масофадан бошқа ҳеч нарсани кўрмаганларида Фарадей муҳитда юз берадиган реал ҳодисаларнинг моҳиятини излаган» (Ж. Максвелл)

си яхши натижаларга эришди. Дастлаб вақт ўтиши билан ўзгарадиган майдонлар борлиги исбот этилди ва шундан кейингина кўзгалмас зарядлар электр майдоннинг борлиги тўғрисида хулоса чиқарилди.

Электромагнит ўзаро таъсирларнинг тарқалиш тезлиги. Фарадейнинг ғояларига асосланиб, Максвелл *электромагнит ўзаро таъсирлар фазода чекли тезлик билан тарқалишини* назарий равишда исботлаб берди.

Демак, агар A заряд салгина сурилса (66- расм), B зарядга таъсир этувчи куч ўзгаради, лекин дарҳол эмас, балки қуйидагича аниқланадиган t вақт ўтгандан кейин ўзгаради:

$$t = \frac{AB}{c}. \quad (7.8)$$

Бу ерда AB — зарядлар орасидаги масофа, c — электромагнит ўзаро таъсирларнинг тарқалиш тезлиги. Максвелл бу тезлик ёруғликнинг вакуумдаги тезлигига, яъни 300 000 км/с га тенг эканлигини топди. A заряд кўчирилганда B заряд атрофидаги электр майдон вақт ўтгандан кейин ўзгаради. Демак, вакуумдаги зарядлар орасида қандайдир жараён юз берадики, натижада зарядлар орасидаги ўзаро таъсир чекли тезлик билан тарқалади.

Яқиндан таъсир қилиш назариясини олисдан таъсир қилиш назариясидан фарқловчи асосий ғоя ўзаро таъсирлашувчи жисмлар орасидаги фазода чекли вақт давом этадиган маълум бир жараён бор, деган ғоядир. Бу икки назарияни тасдиқлаш учун келтирилган бошқа далилларнинг ҳеч қайсиси ҳал қилувчи далил бўлолмайди. Тўғри, зарядларни кўчирганда ўринли бўладиган (7.8) тенгликни тажрибада текшириб кўриш кийин, чунки c тезликнинг киймати жуда катта. Лекин радио ихтиро этилгандан кейинги ҳозирги даврда бунга эҳтиёж ҳам йўқ.

Радиотўлқинлар. Электромагнит тўлқинлар воситасида ахборот узатиш радиоалоқа деб аталади. Ҳозир сиз Венерага

яқинлашиб бораётган космик станциядан Ерга радиотўлкин тўрт минутдан салгина ортиқ вақт ичида етиб келади, деган хабарни газеталардан ўқишингиз мумкин. Бу космик станция ўша сайёранинг атмосферасида ёниб кетган тақдирда ҳам у юборган радиотўлкинлар бошқа жисмларда ютилувчи фазода узок вақт дайдиб юриши мумкин. Шундай қилиб, электромагнит майдон реал борлиқ сифатида намоён бўлади.

Электр майдон нима? Электр майдон ҳақиқатда бор эканлигини биз яхши биламиз. Биз унинг хоссаларини тажрибада тадқиқ қила оламиз. Лекин биз бу майдоннинг нимадан иборат эканлигини айта олмаемиз. Бу ерда биз фанда маълум бўлган фактлар чегарасига келиб такаламиз.

Био гишт, плита ва ҳоказолардан иборат. Улар эса ўз навбатида, молекулалардан, молекулалар атомлардан тузилган. Атомлар элементар зарралардан тузилган. Биз ҳозирча элементар зарралардан соддарок зарраларни билмаймиз. Электр майдонга келганда ҳам гап худди шундай. Биз майдондан соддарок ҳеч нарсени билмаймиз. Шунинг учун электр майдоннинг табиати тўғрисида биз фақат куйидаги фикрларни айта оламиз:

биринчидан, майдон моддийдир: у бизга ва бизнинг уни билишимизга боғлиқ бўлмаган ҳолда мавжуддир;

иккинчидан, майдоннинг маълум хоссалари борки, бу хоссалар уни теварак атрофдаги бошқа нарсалар билан чалкаштириб юборишга йўл қўймайди.

Бу хоссаларни аниқлаш электр майдон нима, деган тасаввурни шакиллантиради.

Электр майдонни ўрганишда биз материянинг ҳаракати Ньютон механикаси қонунларига бўйсунмайдиган алоҳида бир турига дуч келамиз. Электр майдоннинг кашф этилиши билан бутун фан тарихида биринчи марта: *материянинг турли кўринишлари мавжуд ва улардан ҳар бирининг ўзига хос қонунлари бор, деган чуқур ғоя пайдо бўлди.*

Электр майдоннинг асосий хоссалари. *Электр майдоннинг асосий хоссаси — унинг электр зарядларига бирор куч билан таъсир қилишидир.* Зарядга кўрсатилаётган таъсирга қараб майдоннинг мавжудлиги, унинг фазодаги тақсимоти аниқланади, унинг ҳамма характеристикалари ўрганилади.

Кўзгалмас зарядларнинг электр майдони электростатик майдон деб аталади. Бу майдон вақт ўтиши билан ўзгармайди. Электростатик майдонни фақат электр зарядлари ҳосил қилади. Бу майдон зарядлар атрофидаги фазода мавжуд бўлиб, улар билан узвий боғлиқдир.

Биз электродинамикани ўргана борганимиз сари электр майдоннинг янги-янги хоссалари билан таниша борамиз. Вақт ўтиши билан ўзгарадиган электр майдон билан ҳам танишамиз, бу майдон зарядлар билан узвий боғланган эмас. Статик ва ўзгарувчан майдонларнинг кўп хоссалари бир хил бўлади. Бирок улар ўртасида муҳим фарқлар ҳам мавжуд. Агар майдоннинг

бирор хоссаси статик майдонларга ҳам, ўзгарувчан майдонларга ҳам бир хилда тааллуқли бўлса, майдоннинг хоссаларини тилга олганда бу майдонни соддагина қилиб электр майдон деб атаймиз.

Яқиндан таъсир қилиш назариясига асосан, зарядланган зарралар орасидаги ўзаро таъсир электр майдон воситасида амалга оширилади. Электр майдон материянинг алоҳида шакли бўлиб, у бизнинг бу майдон тўғрисидаги билимларимиздан катъи назар мавжуд бўлади. Электр майдон реаллигининг исботи — электромагнит ўзаро таъсирларнинг чекли тезлик билан тарқалишидир.

- ❓ 1. Яқиндан таъсир қилиш назариясининг олисдан таъсир қилиш назариясидан фарқи нимада? 2. Электростатик майдоннинг асосий хоссаларини айтиб беринг.

39-§. ЭЛЕКТР МАЙДОННИНГ КУЧЛАНГАНЛИГИ. МАЙДОНЛАР СУПЕРПОЗИЦИЯСИ ПРИНЦИПИ

Электр майдон мавжуд деб даъво қилишнинг ўзи етарли эмас. Майдоннинг микдорий характеристикасини ҳам киритиш керак. Шундан сўнг электр майдонларни бир-бири билан таққослаш ва уларнинг хоссаларини ўрганишни давом эттириш мумкин бўлади.

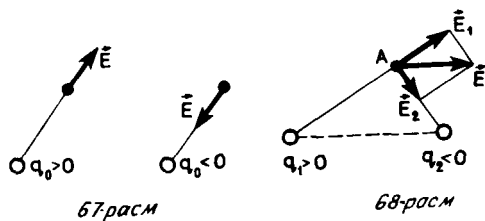
Электр майдоннинг кучланганлиги. Электр майдон зарядга таъсир кўрсатаётган кучларга қараб билинади. Агар биз майдоннинг исталган нуқтасидаги исталган бир зарядга таъсир этувчи кучни билсак, майдон тўғрисида бизга керак бўлган ҳамма маълумотларни биламиз, дейишимиз мумкин.

Шунинг учун майдоннинг зарядга таъсир этувчи кучини аниқлашга имкон берадиган характеристикасини киритиш керак.

Агар майдоннинг айна бир нуқтасига галма-галдан зарядланган чоғроқ жисмлар қўйиб, кучлар ўлчаб кўрилса, зарядга майдон томонидан таъсир этадиган куч шу зарядга тўғри пропорционал эканлиги аниқланади. Дарҳақиқат майдонни q_1 нуқтавий заряд ҳосил қилаётган бўлсин. Кулон қонуни (7.2)га асосан, q_2 зарядга шу q_2 заряднинг ўзига пропорционал бўлган куч таъсир қилади. Шунинг учун майдоннинг тайийли бир нуқтасига қўйилган зарядга таъсир этувчи кучнинг бу зарядга нисбати майдоннинг ҳар бир нуқтасида зарядга боғлиқ эмас ва у майдоннинг характеристикаси деб ҳисобланиши мумкин. Бу характеристика электрmaidоннинг кучланганлиги деб аталади. Кучга ўхшаб, майдон кучланганлиги ҳам вектор катталиқдир. Кучланганлик E ҳарфи билан белгиланади. Агар майдонга қўйилган заряд q_2 ўрнига q билан белгиланса, таърифга асосан, кучланганлик қуйидагига тенг бўлади:

$$\boxed{\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}} \quad (7.9)$$

Майдоннинг кучланганлиги нуқтавий зарядга майдон томонидан таъсир қиладиган кучнинг шу зарядга нисбатига тенг.



Бундан заряд q га электр майдон томонидан таъсир қиладиган куч F қуйидагига тенг:

$$\vec{F} = q\vec{E}. \quad (7.10)$$

\vec{E} векторнинг йўналиши мусбат зарядга таъсир этадиган куч йўналиши билан бир хил бўлиб, манфий зарядга таъсир этадиган кучга қарама-қаршидир.

(7.9) формулага асосан, майдоннинг кучланганлиги СИ бирликларида кулонга тўғри келган ньютон (Н/Кл) ҳисобида ифодаланади.

Нуқтавий заряд майдонининг кучланганлиги. Нуқтавий q_0 заряд ҳосил қилган электр майдоннинг кучланганлигини топайлик. Кулон қонунига асосан, бу заряд бошқа q зарядга F куч билан таъсир қилади:

$$F = k \frac{|q_0| |q|}{r^2}.$$

Нуқтавий q_0 заряд майдонининг заряддан r масофадаги кучланганлигининг модули

$$E = \frac{F}{|q|} = k \frac{|q_0|}{r^2}. \quad (7.11)$$

Электр майдоннинг исталган нуқтасидаги кучланганлик вектори бу нуқта билан зарядни туташтирувчи тўғри чизиқ бўйлаб йўналади (67- расм).

Майдонлар суперпозицияси принципи. Агар жисмга бир нечта куч таъсир қиладиган бўлса, механика қонунларига асосан, натижаловчи куч бу кучларнинг геометрик йиғиндисига тенг: $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots$

Электр зарядларига электр майдон томонидан кучлар таъсир қилади. Агар бир нечта заряднинг майдони қўшилганда бу майдонлар бир-бирига халал бермаса, у ҳолда ҳамма майдонлар томонидан таъсир этадиган куч ҳар бир майдон томонидан таъсир этадиган кучларнинг геометрик йиғиндисига тенг бўлиши керак. Тажриба ҳақиқатда худди шундай бўлишини тасдиқлайди. Бу эса майдонларнинг кучланганликлари геометрик равишда қўшилишини билдиради.

Майдонлар суперпозицияси принципи ана шундан иборат¹. Суперпозиция принципи қуйидагича таърифланади: агар ҳар хил зарядли зарралар фазонинг маълум бир нуқтасида кучланганлик-

¹ «Суперпозиция» сўзи ўзбекчада қўшилши ёки устма-уст тушини деган маънони англатади.

ларни $\vec{E}_1, \vec{E}_2, \vec{E}_3$ ва ҳоказо бўлган майдонлар ҳосил қилса, майдоннинг бу нуқтадаги натижавий кучланганлиги қуйидагига тенг бўлади:

$$\boxed{\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots} \quad (7.12)$$

Суперпозиция принципи туфайли зарядли зарралар системаси ҳосил қилган майдоннинг ҳар қандай нуқтадаги кучланганлигини топиш учун нуқтавий заряд майдони кучланганлигининг (7.11) ифодасини билиш етарлидир. Иккита нуқтавий заряд q_1 ва q_2 ҳосил қилган майдоннинг A нуқтадаги кучланганлиги \vec{E} қандай аниқланиши 68-расмда кўрсатилган.

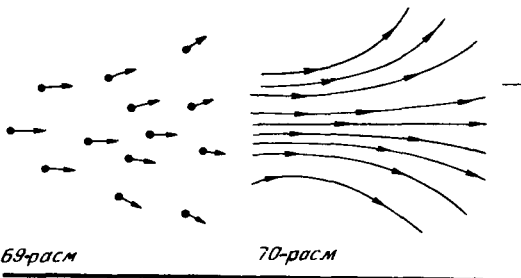
Электр майдон тушунчасини киритиш зарядланган зарралар ўртасида бўладиган ўзаро таъсир кучларини ҳисоблаш масаласини икки қисмга ажратишга имкон беради. Аввало зарядлар ҳосил қилган майдоннинг кучланганлиги ҳисоблаб топилади, сўнг маълум кучланганликка қараб кучлар аниқланади. Масалани бундай қилиб қисмларга ажратиш одатда кучларни ҳисоблашни енгиллаштиради.

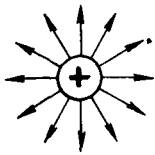
- ! 1. Электр майдоннинг кучланганлиги деб нимага айтилади? 2. Нуқтавий заряд майдоннинг кучланганлиги нимага тенг? 3. Агар $q_0 > 0$ бўлса, q_0 заряд майдонининг кучланганлиги қандай йўналади? $q_0 < 0$ бўлса-чи? 4. Майдонлар суперпозицияси принципини таърифлаб бериңг.

40-§. ЭЛЕКТР МАЙДОННИНГ КУЧ ЧИЗИҚЛАРИ. ЗАРЯДЛАНГАН ШАР МАЙДОННИНГ КУЧЛАНГАНЛИГИ

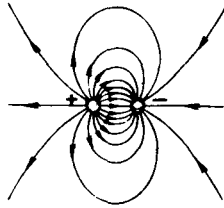
Электр майдон сезги органларига таъсир қилмайди. Уни биз кўрмаймиз. Шундай бўлишига қарамай, майдоннинг фазодаги тақсимотини кўринадиган қилиш мумкин. Бу унча қийин иш эмас.

Агар фазонинг бир неча нуқтасида майдон кучланганлигининг векторларини тасвирласак, майдон тақсимоти тўғрисида маълум бир тасаввурга эга бўламиз (69-расм). Агар ўзлари ўтадиган ҳар бир нуқтада ўтказилган уринмалар кучланганлик векторига мос келадиган узлуксиз чизиклар чизилса, манзара янада яққолроқ бўлади. Бу чизиклар электр майдоннинг куч чизиклари деб ёки кучланганлик чизиклари деб аталади. (70-расм).

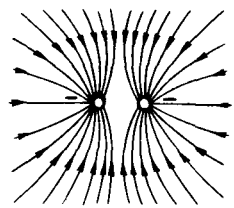




71-расм



72-расм



73-расм

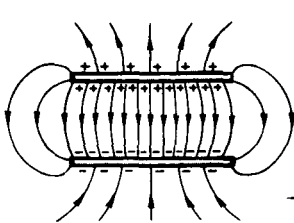
Кучланганлик чизикларини Фарадейнинг ўзи ўйлагандек, чўзилган ип ёки чилвир каби ҳақиқатда бор нарса деб ўйлаш тўғри эмас. Бу чизиклар майдоннинг фазода қандай таксимланганини яққол тасаввур этишга ёрдам беради ва уларни ер шаригаги меридион ва параллелларга ўхшатиш мумкин.

Лекин куч чизикларини «кўринадиган» қилиш мумкин. Агар чўзинчок изолятор (масалан, безгак дориси — хинин) кристалларини қовушок суюқликда (масалан, канақунжут мойида) яхшилаб аралаштирилиб, у ерга зарядли жисмлар жойлаштирилса, зарядли жисмлар яқинида бу кристаллар кучланганлик чизиклари бўйлаб «тизилиб» қолади.

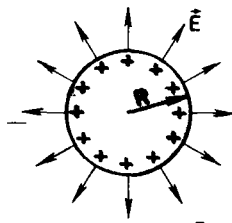
Расмларда мусбат зарядланган шарчанинг кучланганлик чизикларига (71-расм), қарама-қарши ишорали зарядланган икки шарчанинг кучланганлик чизикларига (72-расм), заряднинг ишораси бир хил бўлган икки шарчанинг кучланганлик чизикларига (73-расм), зарядларининг модуллари тенг, лекин ишораси қарама-қарши бўлган икки пластинканинг кучланганлик чизикларига (74-расм) мисоллар келтирилган. Охириги мисол айниқса муҳимдир. Пластинканинг четларидан узоқда улар орасидаги фазода кучланганлик чизиклари параллел экани 74-расмдан кўриниб турибди: бу ерда электр майдон ҳамма нуқталарда бир хил.

Кучланганлиги фазонинг ҳамма нуқталарида бир хил бўлган электр майдон бир жинсли майдон деб аталади. Агар фазонинг чегараланган соҳаси ичида майдон кучланганлиги арзимаган даражада ўзгарса, бу соҳада электр майдонни тахминан бир жинсли майдон деб ҳисоблаш мумкин.

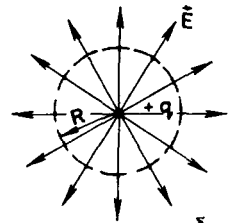
Электр майдоннинг куч чизиклари ёпик эмас, улар мусбат



74-расм



а



б

75-расм

зарядларда бошланиб, манфий зарядларда тугайди¹. Куч чизиклари узлуксиз бўлади ва бир-бири билан кесишмайди, чунки уларнинг кесишуви электр майдоннинг кучланганлиги бу нуқтада тайинли бир йўналишга эга эмаслигини билдирган бўлар эди. Куч чизиклари зарядли жисмларда бошланади ёки тугайди, сўнг эса ҳар хил томонга кетади (к. 71-расм). Шунинг учун *зарядли жисмлар яқинида куч чизиклари зичроқ жойлашади, бу ерда майдон кучланганлиги ҳам каттароқ бўлади.*

Зарядланган шарнинг электр майдони. R радиусли электр ўтказувчи зарядланган шарнинг электр майдонини кўриб чиқамиз. q заряд шарининг сирти бўйлаб текис таксимланган. Симметрия мулоҳазаларига асосан, электр майдонининг куч чизиклари шар радиусларининг давоми бўйлаб йўналган бўлади (75,а-расм).

Диккат килинг-а! Шардан ташқарида куч чизикларининг фазодаги таксимоти худди нуктавий заряднинг куч чизиклари таксимоти каби бўлади (75,б-расм). Модомики куч чизикларининг манзараси бир хил бўлса, майдонларнинг кучланганликлари ҳам бир хил бўлади, дейиш мумкин. Шунинг учун майдоннинг шар марказида $r \geq R$ масофада турган нукталардаги кучланганлиги сфера марказига қўйилган нуктавий заряд майдонининг кучланганлиги аниқланадиган (7.11) формула билан аниқланади:

$$E = k \frac{|q|}{r^2}. \quad (7.13)$$

Ўтказувчи шар ичидаги ($r < R$) майдоннинг кучланганлиги нолга тенг. Бунга биз тез орада ишонч ҳосил қиламиз.

Куч чизикларининг манзараси фазонинг турли нуқталарида электр майдоннинг кучланганлиги қандай йўналган эканлигини яққол кўрсатади. Чизикларнинг зичлиги ўзгаришига қараб нуқтадан-нуқтага ўтилганда майдон кучланганлиги модулининг ўзгариши тўғрисида фикр юритиш мумкин.

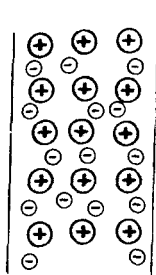
- ❓ 1. Электр майдоннинг куч чизиклари деб нимага айтилади? 2. Ҳамма ҳолларда ҳам зарядли зарранинг траекторияси куч чизиклари билан бир хил бўладими? 3. Куч чизиклари кесишиши мумкинми? 4. Зарядланган ўтказувчи шар электр майдоннинг кучланганлиги нимага тенг?

41-§. ЭЛЕКТРОСТАТИК МАЙДОНДАГИ УТКАЗГИЧЛАР

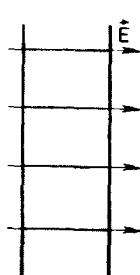
Агар жисмлар зарядланса ёки электр майдонга жойлаштирилса, жисмларга нима бўлади? Бу саволга жисм ўрнида ўтказгич бўлган ҳолда жавоб бериш осонроқ. Ўтказгичларда эркин зарядлар мавжуд.

Эркин зарядлар. Маълумки, *ўтказгичлар* жумласига аввало металллар киради; *ўтказгичларда зарядли зарралар бўлиб, улар электр майдон таъсири остида ўтказгич ичида силжий олади.*

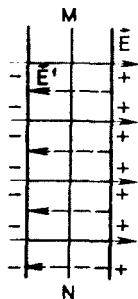
¹ 71-расмда газвирланган куч чизиклари ҳам қаердадир узоқда жойлашган манфий зарядларда тугайди.



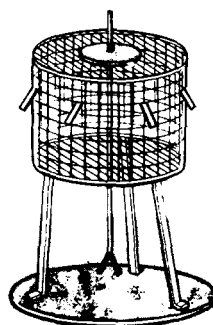
76-расм



77-расм



78-расм



79-расм

Шунинг учун бу зарраларнинг зарядлари эркин зарядлар деб аталади.

Металларда эркин заряд ташувчилар электронлардир. Металл ҳосил бўлишида унинг нейтрал атомлари бир-бири билан ўзаро таъсир қилиша бошлайди. Бу ўзаро таъсир туфайли атомнинг ташки қобиғидаги электронлар «ўзларининг» атомлари билан бўлган боғланишни бутунлай йўқотиб, бутун ўтказгич учун «муштарак» бўлиб қолади. Натижада мусбат зарядланган ионлар муштарак электронлардан ҳосил бўлган манфий зарядли «газ» ичида қолади (76-расм). Эркин электронлар иссиқлик ҳаракатида қатнашади ва металл парчасида ҳар қандай йўналишда кўчиб юра олади.

Ўтказгич ичидаги электростатик майдон. Ўтказгичда эркин зарядлар борлиги туфайли ўтказгич ичида электростатик майдон бўлмайди. Агар электр майдоннинг кучланганлиги нолдан фарқ қилса эди, у ҳолда майдон эркин зарядларни тартибли ҳаракатга келтирган бўлар эди, яъни ўтказгичда электр токи мавжуд бўлар эди. Ўтказгич ичида электр майдон бўлмайди деган даъво зарядли ўтказгич учун ҳам, ташки электростатик майдонга қўйилган зарядсиз ўтказгич учун ҳам бир хилда ўринлидир¹. Ўтказгич ичидаги электростатик майдоннинг кучланганлиги қандай жараён натижасида нолга тенг бўлиб қолишини бир жинсли майдонга қўйилган зарядсиз пластинка (ўтказгич) мисолида аниқлаймиз. (77-расм).

Электр майдон таъсири остида пластинканинг электронлари ўнгдан чапга қараб ҳаракатга келади. Дастлабки пайтда (ўтказгични майдонга киритишда), электр токи пайдо бўлади. Пластинканинг чап қисми манфий, ўнг қисми мусбат зарядланади. *Электростатик индукция* ходисаси ана шундан иборат. (Агар пластинка *MN* чизик бўйлаб тенг иккига бўлинса, иккала қисми

¹ Албатта, алоҳида зарядли зарралар бўлмиш электронлар ва ионлар микроскопик майдонлар ҳосил қилади. Лекин бу майдонлар бир-бирини компенсациялайди ва уларнинг майдони кучланганлигининг ўртача қиймати нолга тенг бўлиб чиқади.

зарядланиб қолади.) Пайдо бўлган зарядлар майдон ҳосил қилади (бу майдоннинг кучланганлик чизиклари 78-расмда пунктир чизиклар билан кўрсатилган), бу майдон ташки майдонга қўшилиб, уни компенсациялайди. Жуда қисқа вақт ичида зарядлар шундай қайта тақсимланадики, пластинка ичида натижаловчи майдоннинг кучланганлиги нолга тенг бўлиб қолиб, зарядлар ҳаракатдан тўхтади. Акс ҳолда ўтказгичда ток ҳамма вақт ўтиб турган ва иссиқлик ажралиб турган бўлар эди. Лекин энергиянинг сақланиш қонунига асосан бундай бўлиши мумкин эмас.

Шундай қилиб, *ўтказгич ичида электростатик майдон йўқ. Электростатик муҳофаза* деб аталадиган муҳофаза мана шу фактга асосланади. Электр майдон таъсирида бузиладиган асбобларни муҳофаза қилиш учун улар металл қути ичига солинади.

Ўтказгичдан ташқарида электростатик майдоннинг куч чизиклари ўтказгич сиртига жуда яқин жойда бу сиртга тик бўлади. Агар бундай бўлмаганда эди, унда майдон кучланганлигининг ўтказгич сирти бўйлаб йўналган ташкил этувчиси мавжуд бўлар ва сирт бўйлаб ток ўтган бўлар эди.

Ўтказгичларнинг электр заряди. Зарядлар мувозанатда бўлганда ўтказгич ичида фақат майдоннинг кучланганлигигина эмас, балки заряд ҳам нолга тенг. *Ўтказгичнинг бутун статик заряди унинг сиртига тўпланади.* Дарҳақиқат, агар ўтказгичнинг ичида заряд бўлса эди, у ҳолда заряд яқинида майдон ҳам бўлар эди. Бироқ ўтказгич ичида заряд яқинида майдон йўқ. Бинобарин, *ўтказгичда зарядлар фақат унинг сиртига жойлашиши мумкин.* Бу ҳулоса электр майдондаги зарядсиз ўтказгичлар учун ҳам, зарядланган ўтказгичлар учун ҳам ўринлидир. Ўтказгич ичида заряд бўлмаслигини оддийгина тажрибаларда, масалан, сим тўрдан ясалган цилиндр билан ўтказиладиган тажрибада кўриш мумкин (79-расм). Цилиндрнинг сиртига енгил станиоль япроқчалар ёпиштирилади. Цилиндр ичидан ўтган электр ўтказувчи силжувчан стерженга ҳам иккита япроқча ёпиштирилади. Агар цилиндрга электростатик машинадан заряд берилса, япроқчалар бирор бурчакка оғади, чунки япроқчаларга оқиб ўтган заряд цилиндрнинг ёки қўшни япроқчанинг ўшандай ишорали зарядидан итарилади. Лекин сурилма стержендан япроқчалар цилиндр ичига киргизилса, улар оғмайди, чунки улардаги заряд нолга тенг.

Зарядлар мувозанатда бўлганда электр майдон ва ўтказгич ичидаги электр заряди нолга тенг. Бутун заряд ўтказгичнинг сиртига тўпланади, ўтказгич сиртининг ҳар қандай нуктасида электр майдоннинг кучланганлик чизиклари бу сиртга тикдир.

- ❓ 1. Нима учун зарядлар мувозанатда бўлганда ўтказгич ичида майдон кучланганлиги нолга тенг? 2. Электростатик муҳофаза нима? 3. Ўтказгичга берилган заряд унда қандай тақсимланади? 4. Металл ўтказгич ичида эркин зарядлар қаёқдан пайдо бўлади?

**42-§. ЭЛЕМЕНТАР ЭЛЕКТР ЗАРЯДИНИ ТАЖРИБАДА АНИҚЛАШ
МИЛЛИКЕН-ИОФФЕ ТАЖРИБАЛАРИ**

Бу ерда биз элементар заряд бўлмиш электрон зарядини ўлчаш тажрибалари тўғрисида хикоя қиламиз. Буни тушуниш учун керак бўладиган ҳамма билимлар энди сизда бор.

Электрон зарядини ўлчашга бағишланган дастлабки энг аниқ тажрибаларни 1906—1916 йилларда америка физиги Р. Милликен (1868—1953) ва ундан мустақил равишда мамлакатимиз олими А. Ф. Иоффе (1880—1960)лар ўтказдилар.

Милликен ўша замон учун дадил бўлган масалани — алоҳида майда ёғ томчиларининг электр зарядини ўлчаш масаласини ўз олдига қўйди. Иоффе эса майда рух чанглари ва симоб томчиларининг зарядини ўлчади. Бунинг учун модданинг массаси 10^{12} г чамасида бўлган заррасига таъсир этувчи тахминан 10^{13} Н келадиган кучни ўлчаш керак эди.

Милликен қурилмасининг асосий қисми иккита параллел пластинка бўлиб, бу пластинкалар орасида бир жинсли электр майдон ҳосил қилинди. Бу майдонга чанглагич воситасида мой томчилари пуркалди. (Мойнинг тўйинган буғи босими паст бўлади ва шунинг учун тажриба давомида томчиларнинг буғланишини эътиборга олмас ҳам бўлади.) Ҳавонинг ҳарорати ва босими қатъий доимий бўлиши учун бутун асбоб муҳофазаловчи ғилоф ичига жойланди.

Мой чанглантирилганда томчилар электрланиб, оғирлик кучи, электр майдон ва бошқа кучлар таъсири остида ҳаракат қилди. Томчиларнинг ҳаракатини махсус дарча орқали микроскопда кузатиш мумкин.

Олдин томчининг оғирлик кучи ρVg , итариб чиқарувчи куч $\rho_0 Vg$ ва ҳавонинг қаршилик кучи F_k таъсири остида тушишининг барқарорлашган тезлиги v_0 ($v_0 = \text{const}$) ўлчанди (бу ерда ρ — мойнинг зичлиги, ρ_0 — ҳавонинг зичлиги, V — томчининг ҳажми). Ҳаракат тезлиги унча катта бўлмаганда қаршилик кучи тезликка тўғри пропорционал; $F_k = bv$. Бу ердаги b коэффициент томчининг радиусига ва ҳавонинг қовушқоқлигига боғлиқ. Уни аниқласа бўлади.

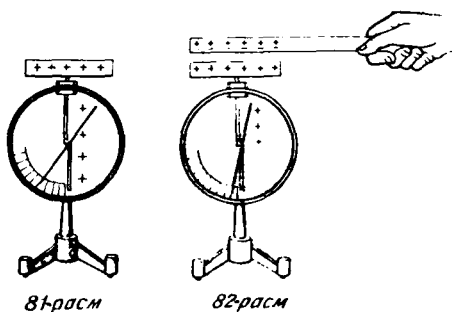
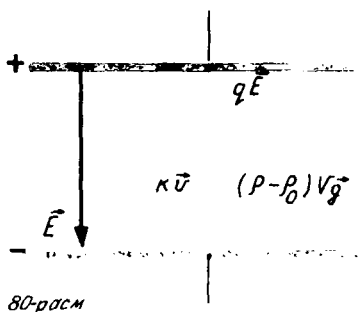
Сўнгра пластинкалар орасида томчиларни юқорига кўтарувчи электр майдон ҳосил қилинди ва томчи ҳаракатининг майдон таъсирида қарор топган тезлиги v ўлчанади. Узгармас тезлик билан ҳаракатланганда ҳамма кучларнинг йиғиндиси нолга тенг бўлгани учун биринчи ҳолда томчининг тезлиги v_0

$$\rho Vg - \rho_0 Vg - bv_0 = 0 \quad (7.14)$$

тенгламадан аниқланади. Майдон берилганда (80-расм) томчининг барқарор ҳаракати тенгламаси

$$\rho Vg - \rho_0 Vg + bv - qE = 0 \quad (7.15)$$

кўринишда бўлади.



(7. 14) ва (7. 15) формулалардан томчи заряднинг қийматини аниқлаш мумкин:

$$q = \frac{b(v_0 + v)}{E}. \quad (7. 16)$$

Мой томчилари рентген нурлари билан нурлантирилганда электр майдондаги томчиларнинг ҳаракати тезлиги сакраб ўзгарган. Бу эса томчининг заряди рентген нурлари таъсирида узлукли ўзгаришидан далолат беради. Рентген нурлари томчидан айрим электронларни юлиб олган.

Электрон зарядга томчининг (7. 16) формула билан аниқланган минимал қиймати q мос келган. Милликен кўп сонли тажрибалар натижасида электрон заряднинг қиймати e ни топган; $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. Ҳозирги маълумотларга кўра элементар заряднинг қиймати қуйидагига тенг;

$$e = 1,6021892 \cdot 10^{-19} \text{ Кл.}$$

Охириг икки рақам ± 46 аниқликда топилган.

Элементар электр заряднинг энг аниқ қийматлари зарядланган мой томчиларининг электр майдондаги ҳаракатини кузатишда олинган.

43-§. ЭЛЕКТРОСТАТИК МАЙДОНДАГИ ДИЭЛЕКТРИКЛАР. ДИЭЛЕКТРИКЛАРНИНГ ИККИ ТУРИ

Ўтказгич бўлмаган жисмлар электростатик майдонга қандай таъсир кўрсатади? Буни билиш учун бундай жисмларнинг тузилиши билан яқиндан танишиш керак.

Изолятор¹ (яъни диэлектрик) бутунча олиб қаралганда нейтрал бўлган атом ёки молекулалардан тузилган. Нейтрал атомда электр зарядлари, тўғрироғи, электр билан зарядланган зарралар: электрон ва ядролар бир-бирига боғланган бўлиб, ўтказгичнинг эрқин зарядларидан фарқли равишда, майдон таъсирида модданинг бутун хажми бўйлаб кўчиб юра олмайди.

¹ Изоляторлар физикада одатда диэлектриклар деб аталади. Бу сўз грекча «диа»—орқали ва инглизча «электрик»—электр сўзларидан келиб чиққан (электромангнит ўзаро таъсирлар узатиладиган моддалар «диэлектриклар» деб аталади).

Ўтказгичларнинг тузилиши диэлектрикларнинг тузилишидан фарк қилади, шу туфайли улар электростатик майдонда ўзларини турлича тутадилар. Диэлектрик ичида электростатик майдон мавжуд бўлиши мумкин ва бунда *диэлектрик бу майдонга маълум таъсир кўрсатади*.

Зарядланмаган диэлектрик ҳақиқатан ҳам электр майдон ҳосил қила олишига оддийгина тажриба ёрдамида ишонч ҳосил қилиш мумкин. 81-расмда стерженининг учида металл диски бўлган зарядланган электрометр тасвирланган. Агар бундай электрометрнинг дискига зарядсиз диэлектрик, масалан, қалин шиша яқинлаштирилса, электрометр стрелкаси стерженга яқинлашади (82-расм). *Зарядланган дисkning электр майдонига киргизилган диэлектрикнинг ўзи электр майдон ҳосил қилган тақдирдагина шундай бўлиши мумкин*.

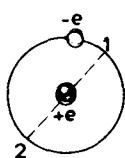
Диэлектрик ҳосил қилинган майдон электрометр стерженида заряднинг тақсимога таъсир кўрсатиб, стрелка билан стерженнинг зарядини камайтиради, шунга яраша дисkning зарядини орттиради.

Нейтрал атом ва молекулаларнинг электр хоссалари. Зарядсиз диэлектрик қандай қилиб электр майдон ҳосил қилишини тушуниб олиш учун аввало нейтрал атом ва молекулаларнинг электр хоссалари билан танишиб чиқиш керак.

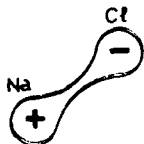
Атом ва молекулалар мусбат зарядли зарра ҳисобланган ядролардан ва манфий зарядли зарра ҳисобланган электронлардан тузилган. 83-расмда энг оддий атом бўлмиш водород атомининг схемаси тасвирланган. Атомининг мусбат заряди, яъни унинг ядросининг заряди атом марказида тўпланган. Электрон атомда катта тезлик билан ҳаракат қилади. Электрон 10^{-15} с чамасидаги жуда қисқа вақт ичида ядро атрофида бир марта айланиб чиқади. Шунинг учун электрон, масалан, 10^{-9} с ичида ядро атрофини миллион марта айланиб чиқишга улгуради ва бинобарин, ядрога нисбатан симметрик жойлашган иккита ихтиёрий 1 ва 2 нукталардан миллион марта ўтади. Бу ҳол манфий заряднинг тақсимот маркази вақт бўйича ўрта ҳисобда атомининг ўртасига тўғри келади, яъни мусбат зарядли ядро билан устма-уст тушади, деб ҳисоблашга имкон беради.

Лекин аҳвол ҳамма вақт ҳам шундай бўлавермайди. NaCl ош тузининг молекуласини кўриб чиқайлик. Натрий атомининг ташқи қобиғида атом билан заиф боғланган битта валентлик электрони бор. Хлорнинг еттита валентлик электронини хлор тортиб олади. Иккала нейтрал атом зарядининг ишораси қарама-қарши бўлган икки иондан иборат системага айланади (84-расм). Энди мусбат ва манфий зарядлар молекуланинг ҳажми бўйлаб симметрик тақсимланган эмас: мусбат заряднинг тақсимот маркази натрий ионга, манфий заряднинг тақсимот маркази хлор ионига тўғри келади.

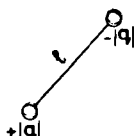
Электр диполи. Катта масофада молекулани бир-бирдан



83-расм



84-расм



85-расм

бирор l масофада жойлашган ва модули жиҳатидан тенг, ишорали қарама-қарши бўлган иккита нуқтавий заряддан иборат тўплам деб тахминан ҳисоблаш мумкин (85-расм). Зарядларнинг бутунича олиб қаралганда *нейтрал бўлган бундай системаси электр диполи деб аталади.*

Диэлектрикларнинг икки тури. Диэлектрикларни икки турга ажратиш мумкин:

мусбат ва манфий зарядлар таксимотининг марказлари устма-уст тушмайдиган молекулалардан тузилган *қутбли* диэлектриклар;

мусбат ва манфий зарядлар таксимотининг марказлари устма-уст тушадиган атом ёки молекулалардан тузилган *қутбсиз* диэлектриклар.

Қутбли диэлектриклар жумласига спирт, сув ва бошқалар қиради; қутбсиз диэлектриклар — инерт газлар, кислород, водород, бензол, полиэтилен ва бошқалардир.

Диэлектрикларнинг икки тури мавжуд: қутбли ва қутбсиз диэлектриклар. Улар молекулаларнинг тузилиши билан фарқ қилади.

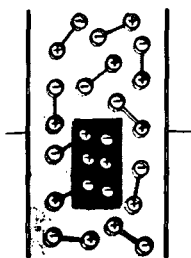
- ❗ 1. Диэлектриклар ўтказгичлардан нимаси билан фарқ қилади? 2. Қандай диэлектриклар қутбли диэлектриклар деб, қандай диэлектриклар қутбсиз диэлектриклар деб аталади?

44-§. ДИЭЛЕКТРИКЛАРНИНГ ҚУТБЛАНИШИ. ДИЭЛЕКТРИК СИНГДИРУВЧАНЛИК

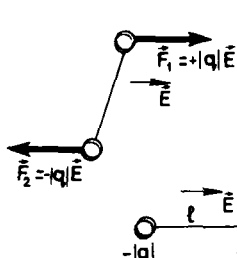
Энди электр майдонида диэлектрикка нима бўлишини кўриб чиқамиз. Диэлектрикларнинг электр хоссаларини ифода этадиган катталик киритамиз.

Қутбли диэлектрикларнинг қутбланиши. Қутбли диэлектрик электр диполлари деб ҳисобланиши мумкин бўлган молекулалардан тузилган. Иссиқлик ҳаракати натижасида диполлар тартибсиз жойлашиб қолади (86-расм). Шу туфайли диэлектрикнинг сиртида, шунингдек унинг кўплаб молекулаларига эга бўлган ҳар қандай ҳажмида (86-расмда қуюқ ранга бўялган тўғри тўртбурчак) электр заряди ўрта ҳисобда нолга тенг. Диэлектрикдаги электр майдоннинг кучланганлиги ҳам ўрта ҳисобда нолга тенг.

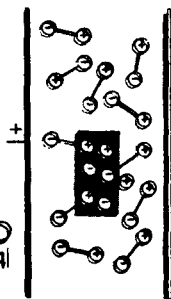
Диэлектрикни қарама-қарши ишорали заряди бўлган иккита параллел металл пластинка орасига жойлаштирамиз. Агар пластинкаларнинг ўлчамлари улар орасидаги масофадан кўп марта ортик бўлса, пластинкалар орасидаги майдон бир жинсли майдон бўлади (40-§ га қ). Ҳар бир электр диполига бу майдон модуллари тенг бўлиб, йўналишлари қарама-қарши икки куч билан таъсир қилади (87-расм). Бу кучлар диполни унинг ўқи майдонининг кучланганлик чизиқлари бўйлаб йўналадиган қилиб



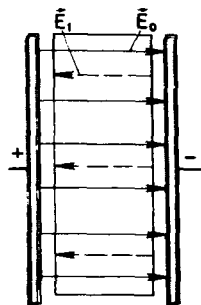
86-расм



87-расм



88-расм



89-расм

буришга интилувчи момент ҳосил қилади (88-расм). Бунда мусбат зарядлар электр майдон йўналишидан кўчади, манфий зарядлар эса бунга тескари йўналишда кўчади.

Диэлектрикнинг боғланган мусбат ва манфий зарядларининг карама-қарши томонларга кўчиши қутбланиш дейилади.

Бироқ иссиқлик ҳаракати ҳамма диполларнинг тартибли жойлашувига қаршилиқ қилади. Абсолют нолга тенг бўлган ҳароратдагина ҳамма диполлар майдоннинг кучланганлик чизиклари бўйлаб тизилиб қолган бўлар эди. Шундай қилиб, майдон таъсири остида электр диполларининг бир қисмигина тартибли жойлашади. Бу эса майдон бўйлаб жойлашган диполлар сони ўрта ҳисобда майдонга қарши йўналишда жойлашган диполлар сонидан ортик эканини билдиради. Диэлектрик сиртида мусбат зарядли пластинка яқинида асосан диполларнинг манфий зарядлари тўпланиши, манфий зарядли пластинка яқинида диполларнинг мусбат зарядлари тўпланиши 89-расмда кўриниб турибди. Натижада диэлектрик сиртида боғланган заряд юзга келади. Диэлектрикнинг ичида диполларнинг мусбат ва манфий зарядлари бир-бирини компенсациялайди ва боғланган электр заряди ўрта ҳисобда аввалича нолга тенг бўлади.

Қутбсиз диэлектрикларнинг қутбланиши. *Электр майдонда қутбсиз диэлектрик ҳам қутбланади.* Молекулаларнинг мусбат ва манфий зарядлари майдон таъсири остида карама-қарши томонларга силжийди ҳамда мусбат ва манфий зарядларнинг таксимот марказлари қутбли молекуланики каби устма-уст тушмай қолади. Деформацияланган бундай молекулаларни ўқи майдон бўйлаб йўналган электр диполлари деб ҳисоблаш мумкин. Диэлектрикнинг зарядли пластинкаларга тақалиб турадиган сиртларида қутбли диэлектрикнинг қутбланишидагидек боғланган зарядлар пайдо бўлади.

Диэлектрик сингдирувчанлик. Боғланган заряд кучланганлиги \vec{E}_1 бўлган электр майдон ҳосил қилади; диэлектрик ичида бу майдоннинг кучланганлиги \vec{E}_1 пластинкалардаги зарядларнинг *ташқи майдони кучланганлигига тескари* йўналади (90-расм). Шу туфайли

диэлектрик ичида майдон заифлашади. Майдоннинг заифлашиш даражаси диэлектрикнинг хоссаларига боғлиқ.

Диэлектрикларнинг электр хоссалари диэлектрик сингдирувчанлик деб аталадиган махсус катталиқ билан ифодаланади.

Муҳитнинг диэлектрик сингдирувчанлиги электр майдоннинг бир жинсли диэлектрик ичидаги кучланганлиги модули \vec{E} ўша майдоннинг вакуумдаги кучланганлиги модули \vec{E}_0 дан неча марта кичик эканлигини кўрсатадиган физик катталиқдир.

Диэлектрик сингдирувчанликни ϵ ҳарфи билан белгиласак¹, таърифга асосан,

$$\epsilon = \frac{E_0}{E}.$$

Шунга мос равишда бир жинсли диэлектрик ичига кўйилган нуқтавий заряднинг зарядланган шарнинг электр майдони кучланганлиги вакуумдагидан ϵ марта кичик бўлади. Нуқтавий заряд ва шар электр майдоннинг кучланганлиги (7.13) формула ўрнига қуйидагича ифодаланади:

$$E = k \frac{|q|}{\epsilon r^2}. \quad (7.17)$$

Нуқтавий зарядларнинг ўзаро таъсир кучи ҳам бир жинсли диэлектрикда майдон кучланганлигининг камайиши ҳисобига ϵ марта камаяди. Бир жинсли диэлектрик ичига жойлаштирилган зарядлар учун Кулон қонуни қуйидагича ёзилади:

$$F = k \frac{|q_1||q_2|}{\epsilon r^2}. \quad (7.18)$$

Шундай қилиб, зарядланган жисмлар орасидаги ўзаро таъсир кучлари бутун олам тортишиш кучларидан фарқли равишда бу жисмлар турли муҳитнинг хоссаларига боғлиқ.

Диэлектрикнинг боғланган зарядлари электр майдонда қарама-қарши томонларга кўчади; диэлектрикнинг қутбланиши юз беради. Қутбланган диэлектрикнинг ўзи электр майдон ҳосил қилади. Бу майдон диэлектрикнинг ичидаги ташки электр майдонини сусайтиради.

- ❓ 1. Диэлектрикнинг қутбланиши деб нимага айтилади? 2. Диэлектрик сингдирувчанлик деб нимага айтилади?

¹ Бу формула фақат бутун фазони тўлдирувчи бир жинсли муҳит учун ёки жисмларнинг махсус симметрияси учун, масалан, конденсатор ичидаги бир жинсли пластинка учун ўринлидир. Шақли ихтиёрий бўлган жисм учун \vec{E} билан \vec{E}_0 орасидаги муносабат анча мураккаб бўлиб, жисмнинг шақлига ва унинг \vec{E}_0 га нисбатан тутган вазиятига боғлиқ бўлади.

45-§. БИР ЖИНСЛИ ЭЛЕКТРОСТАТИК МАЙДОНДАГИ ЗАРЯДЛИ ЖИСМНИНГ ПОТЕНЦИАЛ ЭНЕРГИЯСИ.

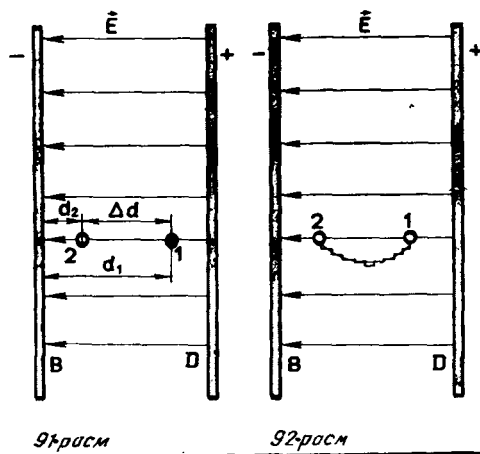
Зарядли жисмлар бир-бирини тортади ёки бир-биридан итарилади. Зарядли жисмлар, масалан, электроскоп япроқчалари кўчганда улар орасида таъсир этувчи кучлар иш бажаради. Механикадан маълумки, жисмларнинг бир-бири билан қиладиган ўзаро таъсири туфайли иш бажара оладиган система потенциал энергияга эга бўлади. Бинобарин, зарядли жисмлар системаси потенциал энергияга эгадир ва бу энергия *электростатик энергия* ёки *электр энергияси* деб аталади.

Потенциал энергия тушунчаси электростатикадаги энг кийин тушунчадир. Эслаб кўринг-а, механикада потенциал энергияни тасаввур этиш нақадар кийин бўлган эди. Кучни биз бевосита сезамиз, потенциал энергияни эса сезмаймиз. Бинонинг бешинчи қаватида бизнинг танамизнинг потенциал энергияси биринчи қаватидагидан катта. Лекин биз буни ҳеч идрок этмаймиз. Юқорига кўтарилишда иш бажаришга тўғри келганлигини шунингдек, бешинчи қаватдан йиқилганда нима бўлишини тасаввур этсак фарк тушунарли бўлиб қолади.

Атомда электронларнинг ядро билан қиладиган ўзаро таъсири энергияси ва молекулада атомларнинг ўзаро таъсир энергияси (химиявий энергия) асосан электр энергиясидир. Атом ядроси ичида улкан электр энергияси бор. Атом электр станциясининг ядро реактори ишлаётганда худди мана шу энергия хисобига иссиқлик чиқади.

Яқиндан таъсир қилиш назарияси нукта назаридан, зарядга бошқа зарядлар ҳосил қилган электр майдон бевосита таъсир қилади. Зарядни кўчиришда унга майдон томонидан қўйилган куч иш бажаради. (Бундан буён қисқалик учун майдоннинг кучи иш бажаради деб эмас, балки майдон иш бажаради деб гапирамиз). Шунинг учун зарядли жисм электр майдонида энергияга эга дейиш мумкин. *Бир жинсли электр майдондаги заряднинг потенциал энергиясини топамиз.*

Зарядни бир жинсли электростатик майдонда кўчиришда бажарилган иш. Зарядларнинг ишораси қарама-қарши бўлган катта металл пластинкалар бир жинсли майдон ҳосил қилади. Ер юзига яқин жойларда турган тошга Ер ўзгармас $F = mg$ куч билан таъсир қилгани каби, бу



майдон ҳам q зарядга ўзгармас $F=qE$ куч билан таъсир қилади. Пластинкалар вертикал турган (91-расм), чапдаги B пластинка манфий, ўнгдаги D пластинка мусбат зарядланган бўлсин. Мусбат q зарядни B пластинкадан d_1 масофада турган 1 нуқтадан ўша пластинкадан d_2 масофада турган 2 нуқтага кўчиришда майдон бажарадиган ишни ҳисоблаб чиқарамиз: $d_2 < d_1$ бўлиб, 1 ва 2 нуқталар айни бир кучланганлик чизиғида жойлашган.

Йўлнинг $\Delta d = d_1 - d_2$ қисмида электр майдон мусбат иш бажаради:

$$A = qE(d_1 - d_2) = -(qEd_2 - qEd_1). \quad (7.19)$$

Оғирлик кучининг иши траекториянинг шаклига боғлиқ бўлмагани каби, бу иш ҳам заряд траекториясининг шаклига боғлиқ эмас. Буни бевосита ҳисоблашлар билан исбот қиламиз.

Зарядни 1 ва 2 нуқталарни туташтирувчи ихтиёрий эгри чизиқ бўйлаб кўчиришда бажарилган ишни ҳисоблаб чиқарамиз. Ишни ҳисоблашда заряднинг силлиқ эгри чизиқ бўйлаб кўчишини поғоналари истаганча кичик бўлган поғонали чизиқ бўйлаб кўчиш билан алмаштириш мумкин (92- расм). Кучланганлиги \vec{F} га перпендикуляр бўлган поғоналар бўйлаб кўчишда иш бажарилмайди. \vec{E} га параллел бўлган поғоналар бўйлаб кўчишда эса (7.19) иш бажарилади, чунки горизонтал кесмалар узунликларининг йиғиндиси $\Delta d = d_1 - d_2$ га тенг.

Потенциал энергия. Агар иш жисм траекториясининг шаклига боғлиқ бўлмаса, бу иш потенциал энергия ўзгаришининг тескари ишора билан олинган қийматиغا тенг:

$$A = -(W_{p_2} - W_{p_1}) = -\Delta W_p. \quad (7.20)$$

Бу тўғрида IX синф физикаси курсида батафсил гапирилган.

Топилган (7.19) ифодани потенциал энергиянинг умумий таърифи (7.20) билан солиштирсак, бир жинсли электростатик майдондаги заряднинг потенциал энергияси қуйидагига тенг эканини кўраемиз:

$$\boxed{W_p = qEd.} \quad (7.21)$$

(7.21) формула Ер сартидан кўтарилган жисм потенциал энергиясининг формуласи $W_p = mgh$ га ўхшайди. Бироқ заряд q массадан фарқли ўлароқ, мусбат бўлиши ҳам, манфий бўлиши ҳам мумкин.

Агар майдон мусбат иш бажарса, у ҳолда майдондаги зарядли жисмнинг потенциал энергияси камаяди: $\Delta W_p < 0$.

Шу билан бир вақтда энергиянинг сақланиш қонунига асосан, зарядли жисмнинг кинетик энергияси ортади. Электрон лампалар, телевизор трубкалар ва ҳоказоларда электр майдоннинг электронларни тезлаштириши ана шунга асосланади. Аксинча, агар майдон ман-

фий иш бажарса (масалан, мусбат зарядли зарра кучланганлик \vec{F} га қарши йўналишда ҳаракатланганда (бу ҳаракат юқорига отилган тошнинг ҳаракатига ўхшайди), у ҳолда $\Delta W_p > 0$ бўлади. Потенциал энергия ортади, кинетик энергия камаяди: зарра тормозланади.

Заряд бошланғич нуқтага қайтиб келадиган ҳолдаги ёпиқ траекторияда ҳаракат қилганда майдон бажарган иш нолга тенг:

$$A = -\Delta W_p = -(W_{p_2} - W_{p_1}) = 0.$$

Потенциал энергиянинг нолинчи сатҳи. *В* пластинканинг сиртида заряднинг потенциал энергияси ((7.21) га қ.) нолга тенг. Бу потенциал энергиянинг нолинчи сатҳи *В* пластинка билан устма-уст тушишини билдиради. Лекин бутун олам тортишиш кучлари билан қилинганидек, бунда ҳам потенциал энергиянинг нолинчи сатҳи ихтиёрий танланади. *В* пластинкадан d_2 масофада $W_p = 0$ деб ҳисоблаш мумкин. У ҳолда

$$W_p = qEd - qEd_2.$$

Потенциал энергиянинг ўзи эмас, балки унинг қийматларининг зарядни бошланғич вазиятдан охириг вазиятга кўчиришда майдон бажарган иш билан аниқланадиган айирмаси физик маънога эга.

Электростатик майдондаги зарядли зарралар потенциал энергияга эга. Заррани майдоннинг бир нуқтасидан бошқа нуқтасига кўчирганда электр майдон траекториянинг шаклига боғлиқ бўлмаган иш бажаради. Бу иш потенциал энергия ўзгаришининг «Манфий» ишора билан олинганига тенг.

- ! 1. Потенциал энергиянинг ўзгариши электр майдоннинг иши билан қандай боғланган? 2. Бир жинсли электр майдондаги зарядли зарранинг потенциал энергияси нимага тенг?

46-§. ЭЛЕКТРОСТАТИК МАЙДОННИНГ ПОТЕНЦИАЛИ ВА ПОТЕНЦИАЛЛАР АЙИРМАСИ

Механикада жисмларнинг ўзаро таъсири *куч* ёки *потенциал энергия билан ифодаланади*. Зарядлар орасидаги ўзаро таъсирни амалга оширадиган электростатик майдон ҳам *икки миқдор билан ифодаланади*. Майдоннинг кучланганлиги — бу куч орқали ифодалашдир. Энди энергетик характеристика киритамиз — бу потенциалдир.

Майдон потенциали. Зарядли жисмни бир нуқтадан бошқа нуқтага кўчиришда ҳар қандай электростатик майдоннинг иши бир жинсли майдоннинг иши каби траекториянинг шаклига боғлиқ эмас. *Ёпиқ траекторияда электростатик майдон бажарадиган иш ҳамма вақт нолга тенг бўлади. Бундай хоссага эга бўлган майдонлар потенциал майдонлар деб аталади.* Хусусан, нуктавий заряднинг электростатик майдони потенциал майдон бўлади. *Потенциал майдон* нинг ишини потенциал энергиянинг ўзгариши орқали ифодалаш мумкин. $A = -(W_{p_2} - W_{p_1})$ формула ҳар қандай

электростатик майдон учун ҳам тўғри бўлаверади. Майдон бир жинсли бўлган ҳолдагина потенциал энергия (7.21) формула билан ифодланади.

Потенциал. Электростатик майдонда заряднинг потенциал энергияси зарядга пропорционалдир. Бир жинсли майдонда ҳам (7.21 га к.), хар кандай бошқа майдонда ҳам шундай бўлади. Бинобарин, потенциал энергиянинг зарядга нисбати майдонга жойлаштирилган зарядга боғлиқ эмас.

Бу хол майдонни унга жойлаштирилган зарядга боғлиқ бўлмаган янги микдорий катталиқ билан ифодалашга имкон беради. Электростатик майдоннинг потенциали деб, майдондаги заряд потенциал энергиясининг шу зарядга нисбатига айтилади.

Бу таърифга асосан потенциал куйидагига тенг:

$$\varphi = \frac{W_p}{q}. \quad (7.22)$$

Майдоннинг кучланганлиги \vec{E} вектор катталиқ бўлиб, майдонни куч жиҳатидан ифодалайди: кучланганлик майдоннинг тайинли бир нуқтасидаги заряд q га таъсир этувчи кучни аниқлайди. Потенциал φ скаляр катталиқ бўлиб, майдонни энергия жиҳатидан ифодалайди: у майдоннинг тайинли бир нуқтасидаги заряд q нивг потенциал энергиясини аниқлайди.

Агар потенциал энергиянинг ва демак, потенциалнинг нолинчи сатҳи сифатида манфий зарядланган пластинка олинса (91-расм), у ҳолда (7.21) ва (7.22) формулаларга асосан бир жинсли майдоннинг потенциали куйидагига тенг бўлади:

$$\varphi = \frac{W_p}{q} = Ed. \quad (7.23)$$

Потенциаллар айирмаси. Потенциал энергия каби потенциалнинг тайин бир нуқтадаги киймати потенциални ҳисоблаш учун танлаб олинган нолинчи сатҳга боғлиқ. Нуқтадаги потенциалнинг ўзи эмас, балки потенциалнинг ўзгариши амалий аҳамиятга эга; бу ўзгариш потенциални ҳисоблаш учун танлаб олинган нолинчи сатҳга боғлиқ эмас.

Потенциал энергия $W_p = q\varphi$ бўлгани учун иш куйидагига тенг:

$$A = -(W_{p_2} - W_{p_1}) = -q(\varphi_2 - \varphi_1) = q(\varphi_1 - \varphi_2) = qU. \quad (7.24)$$

Бу ерда

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 \quad (7.25)$$

потенциалнинг траекториядаги охири ва бошланғич нуқталаридаги қийматларининг айирмаси.

Потенциаллар айирмаси кучланishi деб ҳам аталади.

(7.24) ва (7.25) формулаларга асосан потенциаллар айирмаси

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A}{q}. \quad (7.26)$$

Икки нукта орасидаги потенциаллар айирмаси (кучланиш) зарядни бошланғич нуктадан охириги нуктага кўчиришда майдон бажарган ишнинг шу зарядга нисбатига тенг.

Ёритиш тармоғидаги кучланишни билган ҳолда биз бирлик зарядни розетканинг бир контактидан иккинчи контактига истаган электр занжири бўйлаб кўчирганда электр майдон бажара оладиган ишни била оламиз. Биз потенциаллар айирмаси тушунчасини бутун физика давомида ишлатамиз.

Потенциаллар айирмасининг бирлиги. Потенциаллар айирмасининг бирлиги (7.26) формула ёрдамида аниқланади. Ҳалқаро бирликлар системасида иш жоуль ҳисобида, заряд кулон ҳисобида ифодаланади. Шунинг учун *1 Кл зарядни бир нуктадан иккинчи нуктага кўчиришда электр майдон 1Ж иш бажарса, шу икки нукта орасидаги потенциаллар айирмаси бирга тенг бўлади.* Бу бирлик вольт (В) деб аталади; $1 \text{ В} = 1 \text{ Ж} / 1 \text{ Кл}$.

Электростатик майдон энергетик жиҳатдан потенциал билан ифодаланади. Потенциал заряднинг потенциал энергияси билан ўша зарядга нисбатига тенг. Икки нукта орасидаги потенциаллар айирмаси бирлик зарядни кўчириш ишига тенг.

- ! 1. Қандай майдонлар потенциал майдонлар деб аталади? 2. Потенциални таърифлаб беринг. 3. Майдоннинг икки нуктаси орасидаги потенциаллар айирмаси электр майдоннинг ишига қандай боғлиқ? 4. Потенциаллар айирмасининг бирлиги — вольтни таърифлаб беринг.

47-§. ЭЛЕКТРОСТАТИК МАЙДОН КУЧЛАНГАНЛИГИ БИЛАН ПОТЕНЦИАЛЛАР АЙИРМАСИ ОРАСИДАГИ МУНОСАБАТ. ЭКВИПОТЕНЦИАЛ СИРТЛАР

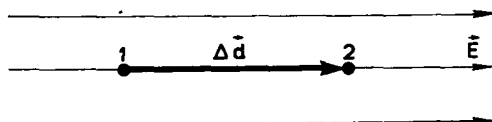
Фазонинг тайинли нуктасидаги потенциал ихтиёрий бўлиши мумкин. Аммо фазонинг бир нуктасидан кўшни нуктага ўтилганда потенциалнинг ўзгариши мутлақо тайинли бўлади. Фазонинг ҳар бир нуктасидаги потенциални билган ҳолда биз майдон тўғрисида ҳамма нарсани билган бўламиз. Майдоннинг кучланганлигини топа оламиз. Электростатик майдоннинг кучланганлиги билан потенциаллар айирмаси орасида маълум бир муносабат борки, биз буни ҳозир топамиз.

q заряд бир жинсли электр майдоннинг \vec{E} кучланганлиги йўналишида 1 нуктадан 2 нуктага томон кўчаётган бўлсин, деб фараз қилайлик. (93-расм): 2 нукта 1 нуктадан Δd масофада жойлашган.

Электр майдон *A* иш бажаради: ($A = qE \Delta d$).

Бу ишни (7.26) формулага асосан 1 ва 2 нукталардаги потенциаллар айирмаси орқали ифодалаш мумкин:

$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2) = qU. \quad (7.27)$$



93-расм

Ишнинг бу ифодаларини бир-бирига тенглаштириб, майдон кучланганлиги векторининг модулини топамиз:

$$E = \frac{U}{\Delta d} \quad (7.28)$$

Бу формуладаги U ҳарфи 1 ва 2 нукталар орасидаги потенциаллар айирмасини билдиради; бу нукталар бир-бирига йўналиши \vec{E} вектор билан бир хил бўлган Δd кўчиш вектори орқали боғланган (93- расм).

(7.28) формуладан кўринишича, Δd масофада потенциал қанчалик оз ўзгарса, электростатик майдоннинг кучланганлиги шуңчалик кичик бўлади; агар потенциал ҳеч ўзгармаса майдоннинг кучланганлиги нолга тенг.

Мусбат зарядни \vec{E} вектор йўналишида кўчиришда электростатик майдон мусбат $A = q(\varphi_1 - \varphi_2)$ иш бажаради, шунинг учун φ_1 потенциал φ_2 потенциалдан ортиқ.

Бинобарин, электр майдоннинг кучланганлиги потенциалнинг камайиш томонига қараб йўналган.

Ҳар қандай электростатик майдонни фазонинг кичик бир соҳасида бир жинсли майдон деб ҳисоблаш мумкин. Шунинг учун (7.28) формула ҳар қандай электростатик майдон кучланганлиги учун тўғри келади, бунда фақат қуйидаги шартга риоя қилиш керак: Δd масофа шунчалик кичикки, бу масофада майдон кучланганлигининг ўзгаришини эътиборга олмасамиз ҳам бўлади.

Электр майдон кучланганлигининг бирлиги. СИ бирликларида электр майдон кучланганлигининг бирлиги (7.28) формула ёрдамида аниқланади. Агар бир жинсли майдонда икки нуқта орасидаги масофа 1м бўлганда улардаги потенциаллар айирмаси 1В бўлса, электр майдоннинг кучланганлиги бирга тенг бўлади. Бу бирликнинг номи метрга тўғри келган вольт (В/м) деб ўқилади.

Юқорида айтиб ўтилгандек, кучланганликни кулонга тўғри келган ньютон ҳисобида ифодалаш ҳам мумкин. Дарҳақиқат,

$$1 \frac{\text{В}}{\text{м}} = 1 \frac{\text{Ж}}{\text{Кл}} \cdot \frac{1}{\text{м}} = 1 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{Кл}} \cdot \frac{1}{\text{м}} = \frac{\text{Н}}{\text{Кл}}$$

Эквипотенциал сиртлар. Зарядни майдоннинг куч чизиқларига нисбатан 90° бурчак ҳосил қилиб кўчирганда майдон иш бажармайди, чунки бу ҳолда куч кўчишга перпендикулярдир. Демак, ҳар бир нуқтада куч чизиқларига перпендикуляр бўлган сирт ўтказилса, бу сирт бўйлаб заряд кўчирилганда иш бажарилмайди.

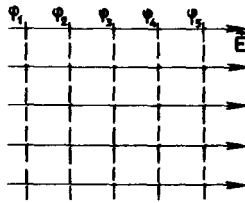
Бу эса, ўз навбатида, куч чизиқларига перпендикуляр бўлган сиртнинг ҳамма нуқталари айни бир потенциалга эга эканлигини билдиради.

Тенг потенциалли сиртлар эквипотенциал сиртлар деб аталади.

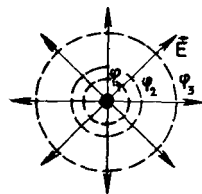
Бир жинсли майдоннинг эквипотенциал сиртлари текислик

бўлади (94-расм), нуктавий заряд майдонининг эквипотенциал сиртлари эса концентрик сфералар бўлади (95-расм).

Эквипотенциал сиртлар, куч чизиқларига ўхшаб, майдоннинг фазодаги тақсимотини сифат жиҳатдан ифодалайди. Кучланганлик вектори эквипотенциал сиртларга перпендикуляр бўлиб, потенциал камаядиган томонга йўналади.



94-расм



95-расм

Электростатик майдондаги ҳар қандай ўтказгичнинг сирти эквипотенциал сирт бўлади. Чунки майдоннинг куч чизиқлари ўтказгичнинг сиртига перпендикулярдир. Бунда ўтказгичнинг сиртигина эмас, балки унинг ичидаги ҳамма нукталари ҳам айни бир потенциалга эга бўлади. Ўтказгич ичида электр майдоннинг кучланганлиги нолга тенг, демак, ўтказгичнинг ихтиёрий икки нуктаси орасидаги потенциаллар айирмаси ҳам нолга тенг.

Электростатик майдон кучланганлигининг модули майдондаги яқин иккита нукта орасидаги потенциаллар айирмасининг бу нукталар орасидаги масофага нисбатан тенг.



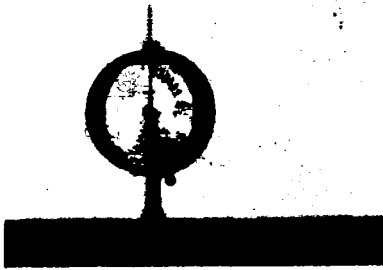
1. Зарядланган ўтказгичнинг икки нуктаси орасидаги потенциаллар айирмаси нимага тенг?
2. Диполь электр майдонининг эквипотенциал сиртлари манзарасини чизинг. (72-расмга қ.)
3. Потенциаллар айирмаси билан электр майдоннинг кучланганлиги орасидаги муносабат қандай?

48-§. ПОТЕНЦИАЛЛАР АЙИРМАСИНИ ЎЛЧАШ

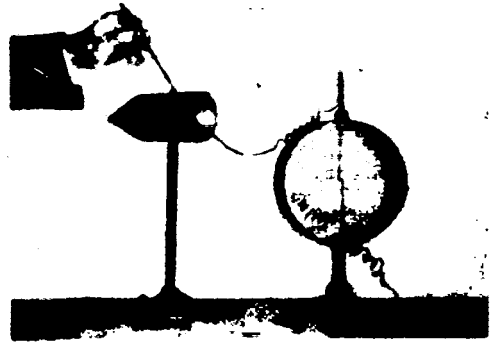
Майдон кучланганлиги электр майдонини куч жиҳатдан яққол ифодалайди. Лекин уни ўлчаш қийин. Потенциаллар айирмаси (энергетик характеристика) у қадар яққол бўлмаса-да, уни ўлчаш осонроқ.

Потенциаллар айирмаси электрометр билан ўлчанади. Энг оддий электрометрлардан бири 96-расмда кўрсатилган. Унинг асосий қисми металл стерженга ўрнатилган енгил алюминий стрелка бўлиб, стрелка стерженга горизонтал ўқ воситасида бириктирилган. Стрелканинг оғирлик маркази ўқдан пастда ётади, шунинг учун ўлчашдан олдин стрелка вертикал вазиятда туради. Стрелкали стержень металл корпус ичига солинган, корпус стержендан эбонит тиқин билан изоляция қилинган. Стрелка махсус дарчадан қараб кузатилади. Электрометр электроскопга ўхшаб кетади, лекин ундан корпуси металл бўлиши билан фарк қилади.

Икки ўтказгич орасидаги потенциаллар айирмасини ўлчаш учун улардан бири электрометр стерженига, иккинчиси корпусга уланади. (Жисмнинг Ерга нисбатан потенциалини ўлчаш учун уни



96-расм



97-расм

стерженьга ўтказгич билан улаб, корпус ерга уланади). Бунда корпус билан стержень орасида ўлчаниши керак бўлган потенциаллар айирмаси ҳосил бўлади. Электромтр ичидаги электр майдони фақат мана шу потенциаллар айирмасига боғлиқ бўлади, чунки зарядланган ёки кутбланган жисмларнинг ташки электростатик майдони асбобнинг металл корпусидан ўтмайди. Электромтр ичидаги майдон тақсимоли стрелкага таъсир этувчи кучларни бир қийматли аниқлайди. Стрелканинг вазиятига қараб потенциаллар айирмасининг қийматини билиш учун асбобни даражаш керак. Бунинг учун зарядли ўтказгичлар орасидаги кучланишнинг маълум қийматларига стрелканинг қандай оғиш бурчаклари мос келишини топиш лозим.

Ўтказгичнинг ҳамма нуқталари Ерга нисбатан бир хил потенциалга эга бўлишига электромтрда тажриба ўтказиб осонгина ишонч ҳосил қилиш мумкин.

Бунинг учун корпуси ерга уланган электромтрнинг стержени ўтказгичнинг турли қисмларига сим билан улаб кўрилади (97-расм). Бунда электромтрнинг кўрсатишлари ўзгармайди.

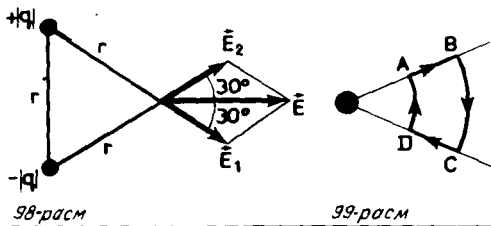
Потенциаллар айирмаси электромтр билан ўлчанади. Электромтр — корпуси металлдан ясалган электроскопдир.

МАСАЛА ЕЧИШ НАМУНАЛАРИ

Электр майдоннинг кучланганлиги тушунчасидан фойдаланиб масала ечишда аввало зарядга электр майдон томонидан таъсир этадиган кучни аниқлайдиган (7.10) формулани ва нуқтавий заряд майдонининг кучланганлигини аниқлайдиган (7.17) формулани билиш керак. Бир неча нуқтавий зарядлар ҳосил қилган электр майдонларнинг кучланганлиги айрим зарядлар майдонлари кучланганликларининг геометрик йиғиндисига тенг.

Майдон томонидан зарядга таъсир этувчи кучларнинг иши потенциал энергиялар айирмаси ёки потенциаллар айирмаси (7.27 формула) орқали ифодаланади. Бир жинсли майдоннинг потенциали (7.23) формула билан аниқланади.

Кўпинча масала ечишда электростатик майдондаги ўтказгичнинг ҳамма нукталари аynи бир потенциалга эга бўлишини, ўтказгич ичида майдоннинг кучланганлиги нолга тенг бўлишини ҳисобга олиш керак бўлади.



1. Иккита бир хил нуктавий мусбат заряд диэлектрик сингдирувчанлиги ϵ бўлган бир жинсли муҳитда бир-бирдан r масофада жойлашган. Электр майдоннинг биринчи заряддан ҳам, иккинчи заряддан ҳам бир хил r масофада жойлашган нуктасидаги кучланганлигини топинг.

Ечилиши. Суперпозиция принципига асосан, изланаётган кучланганлик \vec{E} ҳар бир заряд ҳосил қилган майдонлар кучланганликларининг геометрик йиғиндисига тенг (98-рasm). Ҳар бир майдон кучланганликларининг модуллари тенг: $E_1 = E_2 = k \frac{|q|}{\epsilon r^2}$. \vec{E}_1 ва \vec{E}_2 векторлардан тузилган параллелограммнинг диагонали натижавий майдоннинг кучланганлиги бўлиб, унинг модули қуйидагига тенг:

$$E = 2E_1 \cos 30^\circ = 2k \frac{|q| \sqrt{3}}{\epsilon r^2} = k \frac{|q| \sqrt{3}}{\epsilon r^2}.$$

2. $r = 0,2$ м радиусли ўтказувчи сфера ($q = 1,8 \cdot 10^{-4}$ Кл) диэлектрик синдирувчанлиги $\epsilon = 27$ бўлган диэлектрик ичига қўйилган. Қуйидагиларни аниқланг: электр майдоннинг сфера сиртидаги кучланганлигининг модули E ни; 2) электр майдоннинг сфера марказидан $r_1 = 10$ м масофада турган нуктадаги кучланганлигининг модули E_1 ни; 3) электр майдоннинг сфера марказидаги кучланганлигининг модули E_0 ни; 4) Сфера марказидаги потенциал сфера сиртидаги потенциалдан неча марта фарк қилишини.

Ечилиши. Зарядланган сферанинг сферадан ташқаридаги электр майдони нуктавий заряднинг майдони билан бир хил бўлади. Шунинг учун

$$E = k \frac{|q|}{\epsilon r^2}.$$

Бинобарин,

$$1) E = \frac{k|q|}{\epsilon r^2} \approx 1,5 \cdot 10^6 \text{ В/м}; \quad 2) E_1 = k \frac{|q|}{\epsilon r_1^2} \approx 600 \text{ В/м};$$

3) Майдоннинг электр ўтказувчи сфера ичидаги ҳар қандай нуктадаги кучланганлиги нолга тенг: $E_0 = 0$.

4) Сфера ичидаги барча нукталарнинг потенциаллари бир хил.

8- МАШҚ.

1. Кучланганлиги $1,3 \cdot 10^{10} \text{ В/м}$ бўлган ва пастга вертикал йўналган бир жинсли электр майдонда массаси $2 \cdot 10^{-9} \text{ г}$ бўлган суюқлик томчиси мувозанатда туриб қолган. Томчининг зарядини ва ундаги ортиқча электронлар сонини топинг.

2. Нима сабабдан зарядланган тароқ электр жиҳатдан нейтрал бўлган қоғоз қийқимларини тортади?

3. Нуқтавий $q_2 > 0$ заряд майдонида $q_1 > 0$ электр заряди ёпиқ $ABCD$ контур бўйлаб кўчирилди (99-расм). Майдоннинг зарядни кўчириш иши контурнинг қайси қисмларида мусбат бўлган? Қайси қисмларида манфий бўлган? Қайси қисмларида нолга тенг бўлган? Системанинг потенциал энергияси қандай ўзгарган? Зарядни кўчиришда бажарилган тўлиқ иш нимага тенг?

4. Электр майдонда ҳаракат қилиб электрон бир нуқтадан потенциали 1 В ортиқ бўлган бошқа нуқтага ўтган. Бунда электроннинг кинетик энергияси қандай ўзгарган? Потенциал энергияси-чи?

5. $q_1 > 0$ ва $q_2 < 0$ нуқтавий зарядлар томони r бўлган тенг томони учбурчакнинг икки учида турибди. Агар муҳитнинг диэлектрик сингдирувчанлиги ϵ га тенг бўлса, майдоннинг учинчи учдаги кучланганлиги векторининг модули нимага тенг бўлади?

6. Электростатик майдоннинг потенциали пастдан юқорига томон ортиб боради. Майдон кучланганлигининг вектори қаёққа йўналган?

7. Айни бир куч чизиғида бир-биридан 3 см масофада ётган нуқталар орасидаги потенциаллар айирмаси 120 В га тенг. Агар бу майдон бир жинсли электростатик майдон бўлса, унинг кучланганлиги нимага тенг бўлади?

8. Бир текис зарядланган чексиз узун ўтказувчи цилиндрнинг эквипотенциал сиртларини тасвирланг.

9. Электр майдонда ҳаракат қилиб электрон ўз тезлигини $v_1 = 1 \cdot 10^7 \text{ м/с}$ дан $v_2 \approx 3 \cdot 10^7 \text{ м/с}$ га етказди. Электрон ҳаракатининг бошланғич нуқтаси билан охириги нуқтаси орасидаги потенциаллар айирмасини топинг. Электрон зарядининг массасига нисбати: $\frac{e}{m} = 1,76 \cdot 10^{11} \text{ Кл/кг}$.

49-§. ЭЛЕКТР СИҒИМИ. ЭЛЕКТР СИҒИМИНИНГ БИРЛИКЛАРИ

Амалиёт учун муҳим бўлган бир масалани аниқлаштириб оламиз: қандай шароитда электр ўтказувчи жисмларда кўп электр заряди тўплаш мумкин?

Жисмларни зарядлашнинг ҳар қандай усулида, масалан, иш-қалаш йўли билан зарядлашда, электростатик машина ёки гальваник элемент воситасида зарядлашда ва шу каби усулларда дастлаб нейтрал бўлган жисмлар бир жисмдан бошқасига бирор миқдор зарядли зарралар ўтиши туфайли зарядланади. Одатда бу зарралар электронлар бўлади.

Икки ўтказгич зарядланганда (масалан, электростатик машина воситасида зарядланганда) улардан бири $+|q|$ заряд, иккинчиси $-|q|$ заряд олади. Ўтказгичлар орасида электр майдон пайдо бўлади ва потенциаллар айирмаси (кучланиш) юзага келади. Кучланиш ортганда ўтказгичлар орасидаги электр майдон кучаяди.

Кучли электр майдонида (кучланиш юқори бўлганда) диэлектрик (масалан, ҳаво) электр ўтказувчи бўлиб қолади. Бу ҳолда диэлектрик тешилади: Ўтказгичлар орасидан учкун чиқади ва улар

зарядсизланади. Ўтказгичларнинг заряди ортганда улар орасидаги кучланиш канчалик секин ортса, уларда шунчалик кўп заряд тўплаш мумкин.

Электр сифими. Икки ўтказгичнинг электр заряди тўплай олиш қобилиятини ифодалайдиган физик катталиқ киритамиз. Бу катталиқ электр сифими деб аталади.

Икки ўтказгич орасидаги кучланиш U ўтказгичларнинг сиртидаги электр зарядига (бирида $+|q|$ заряд, иккинчисида $-|q|$ заряд) пропорционалдир.

Ҳақиқатда ҳам, агар зарядлар икки марта орттирилса, электр майдоннинг кучланганлиги ҳам икки марта катта бўлиб қолади. Бинобарин, зарядни кўчиришда майдон бажарадиган иш ҳам икки марта ортади, яъни кучланиш икки марта ортади. Шунинг учун ўтказгичлардан биридаги заряд q нинг (иккинчи ўтказгичда ҳам модули худди шундай бўлган заряд бор) бу ўтказгич билан қўшни ўтказгич орасидаги потенциаллар айирмасига нисбати зарядга боғлиқ эмас. Бу нисбат фақат ўтказгичларнинг геометрик ўлчамлари, шакли ва бир-бирига нисбатан жойлашишига, шунингдек атрофдаги муҳитнинг электр хоссаларига (ϵ диэлектрик сингдирувчанлигига) боғлиқ бўлади. Бу ҳол икки ўтказгичнинг электр сифими деган тушунча киритишга имкон беради.

Икки ўтказгичнинг электр сифими деб улардан биридаги электр заряднинг бу ўтказгич билан қўшни ўтказгич орасидаги потенциаллар айирмаси нисбатига айтилади:

$$C = \frac{q}{U}. \quad (7.29)$$

Ўтказгичларга $+|q|$ ва $-|q|$ — зарядлар берилганда U кучланиш канчалик кичик бўлса, ўтказгичларнинг электр сифими шунчалик катта бўлади. Диэлектрикни тешиш даражасига етказмасдан ўтказгичларда катта зарядлар тўплаш мумкин. Бирок электр сифимининг ўзи на ўтказгичларга берилган зарядларга, на пайдо бўладиган кучланишларга боғлиқ эмас.

Баъзан битта ўтказгичнинг электр сифими билан иш кўрилади. Агар ўтказгич яққаланган бўлса, яъни у бошқа ўтказгичлардан ўз ўлчамларига нисбатан катта бўлган масофада турса, бу тушунча маънога эга бўлади. Масалан, электр ўтказувчи шарнинг электр сифими бунга мисолдир. Бунда иккинчи ўтказгич ролини шар атрофидаги узокрокда турган жисмлар ўйнайди.

Электр сифимининг бирликлари. Электр сифимининг бирлиги (7.29) формула ёрдамида аниқланади.

Агар икки ўтказгичга $+1$ Кл ва -1 Кл заряд берилганда улар орасида 1 В потенциаллар айирмаси ҳосил бўлса, бу икки ўтказгичнинг сифими бир бирликка тенг бўлади. Бу бирлик фарад (Φ) деб аталади. $1 \Phi = 1 \text{ Кл/В}$.

1 Кл заряд жуда катта бўлгани учун 1Φ га тенг сифим ҳам жуда катта бўлади. Шунинг учун амалда кўпинча бу бирликнинг улушлари — микрофарад ($\text{мк}\Phi$) $= 10^{-6} \Phi$ ва пикофарад ($\text{п}\Phi$) $= 10^{-12} \Phi$ ишлатилади.

Ўтказгичларнинг муҳим характеристикаси электр сифимидир. Ўтказгичларга қарама-қарши ишорали зарядлар берилганда улар орасида потенциаллар айирмаси қанчалик оз бўлса, электр сифими шунчалик катта бўлади.

- ! 1. Икки ўтказгичнинг электр сифими деб нимага айтилади? 2. Нима учун электр сифими тушунчаси диэлектрикларга нисбатан ишлатилмайди? 3. Электр сифими қандай бирликларда ифодаланади? 4. Электр сифими тушунчасини битта ўтказгичга нисбатан ишлатиб бўладими?

50-§. КОНДЕНСАТОРЛАР¹

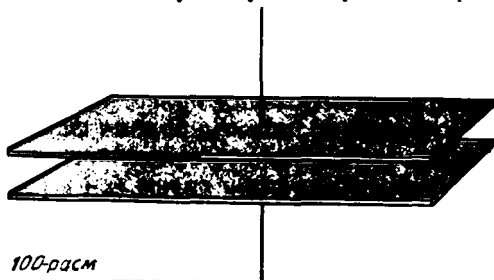
Электр сифими жуда катта бўлган ўтказгичлар системасини ҳар қандай радиоприёмникда кўришингиз ёки магазинда сотиб олишингиз мумкин. У конденсатор деб аталади. Сиз ҳозир конденсатор қандай тузилганини ва уларнинг электр сифими нимага боғлиқ бўлишини билиб olasиз.

Конденсатор. Икки ўтказгичдан иборат бўлган системаларнинг электр сифими катта бўлади. Булар конденсаторлар деб аталади. Конденсаторлар икки ўтказгич бўлиб, бу ўтказгичлар орасига қалинлиги уларнинг ўлчамларидан жуда кичик бўлган диэлектрик қатлам қўйилади. Бу ҳолда ўтказгичлар *конденсатор* қопламлари деб аталади.

Энг оддий ясси конденсатор бир-бирига жуда яқин қилиб қўйилган иккита бир хил пластинкадан иборат бўлади (100-расм). Агар пластинкаларнинг заряди модуль жиҳатидан тенг ва қарама-қарши ишорали бўлса, у ҳолда электр майдоннинг куч чизиқлари конденсаторнинг мусбат зарядланган қопламасида бошланиб, манфий зарядланган қопламасида тугайди (74-расм). *Шунинг учун электр майдон деярли бутунлай конденсатор ичида тўпланган бўлади.*

Иккита концентрик сферадан иборат бўлган сферик конденсаторда бутун майдон қопламалар орасида тўпланган бўлади.

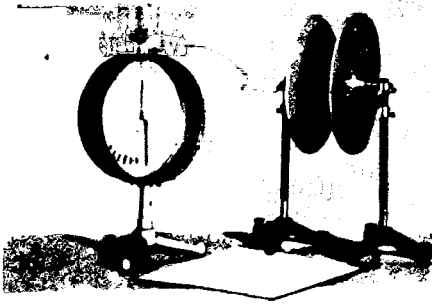
Конденсаторни зарядлаш учун унинг қопламаларини кучла-ниш манбаининг, масалан, аккумулятор батареясининг қутбларига улаш керак. Ёки бир қопламани бир қутби ерга уланган батареянинг қутбига, иккинчи қопламани эса ерга улаш керак². Бу ҳолда ерга уланган қопламада модуль жиҳатдан иккинчи қопламанинг зарядига тенг ва ишораси тесқари бўлган заряд қолади. Модули худди шундай заряд ерга ўтиб кетади.



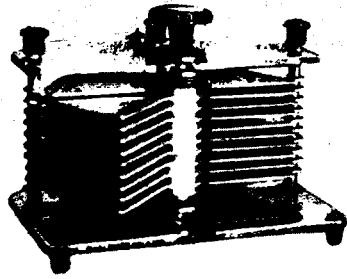
100-расм

¹ Конденсатор дегани ўзбекча «қуюқлаштирувчи» деган маънони билдиради. Бу ерда «электр зарядини қуюқлаштирувчи» деб тушуниш керак.

² Ўтказгичларни ерга улаш дегани уларни (жуда катта ўтказгич билан) ерга металл листлар, водопровод қувурлари ва бошқалар воситасида улашни билдиради.



101-расм



102-расм

Конденсаторнинг заряди деганда қопламалардан биридаги заряднинг абсолют қиймати тушунилади.

Конденсаторнинг электр сиғими (7.29) формула билан аниқланади.

Атрофдаги жисмларнинг электр майдонлари конденсаторнинг ичига деярли ўтмайди ва қопламалар орасидаги потенциаллар айирмасига таъсир қилмайди. Шунинг учун амалда конденсаторнинг электр сиғими унинг атрофида жисмларнинг бор-йўқлигига боғлиқ эмас.

Лейден банкиси деб аталган биринчи конденсатор XVIII аср ўрталарида ихтиро қилинган. Симобли шиша банкага қўйилган мих катта электр заряди тўплаши маълум бўлиб қолган. Бундай конденсаторларда симоб бир қоплама бўлиб, банкани ушлаб турган тажрибачининг қафти иккинчи қоплама бўлган. Кейинчалик иккала қоплама ҳам юпка жез ёки станиолдан қилинадиган бўлди.

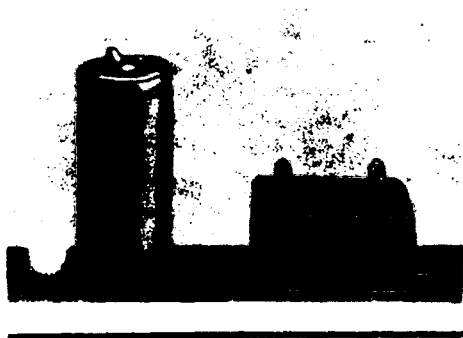
Ясси конденсаторнинг электр сиғими. Ясси конденсаторнинг сиғимини ҳисоблаб чиқарайлик. Унинг ҳар бир пластинкасининг юзини S билан, пластинкалар орасидаги масофани d билан белгилаймиз. Ясси конденсаторнинг сиғими бу микдорларга боғлиқ бўлиши керак. Пластинкаларнинг юзи қанчалик катта бўлса, уларда шунчалик кўп заряд йиғиш мумкин: $q \sim S$. Иккинчи томондан, пластинкалар орасидаги кучланиш (7.28) формулага асосан, пластинкалар орасидаги масофага пропорционал. Шунинг учун сиғим

$$C = \frac{q}{U} \sim \frac{S}{d}.$$

Ундан ташқари, кучланиш майдоннинг кучланганлиги каби, муҳитда ϵ марта камайди: $U \sim \frac{1}{\epsilon}$. Бинобарин, пластинкалар орасига диэлектрик қўйилган бўлса, у ҳолда сиғим

$$C \sim \frac{S\epsilon}{d}. \quad (\text{Ясси конденсатор учун: } C = \frac{\epsilon_0\epsilon S}{d}). \quad (7.30)$$

Оддий мулоҳазалар воситасида топилган (7.30) муносабатни



тажрибада текшириб кўрамиз. Унинг учун пластинкалар орасидаги масофани ўзгартириш мумкин бўлган конденсатор ва корпуси ерга уланган электрометр оламиз (101-расм). Электрометрнинг корпуси ва стерженини конденсаторнинг пластинкаларига симлар билан улаб, конденсаторни зарядлаймиз. Бунинг учун конденса-

торнинг стерженга уланган пластинкасига электрланган таёкчани тегиши керак. Электрометр пластинкалар орасидаги потенциаллар айирмасини кўрсатади.

Пластинкаларни бир-биридан бир оз узоқлаштирсак, *потенциаллар айирмаси ортишини* кўрамиз.

Электр сиғимининг ((7.29) формулага қаранг) таърифига асосан потенциаллар айирмасининг ортиши сиғим камайганини билдиради. (7.30) формулага мувофиқ пластинкалар орасидаги масофа ортганда электр сиғими ҳақиқатан ҳам камайиши керак.

Конденсатор қопламалари орасига диэлектрикдан ясалган пластинка, масалан, органик шиша пластинка қўйсақ, *потенциаллар айимаси камаяди*. Бинобарин, *конденсаторнинг электр сиғими бу ҳолда ортади*.

Пластинкалар орасидаги d масофа жуда кичик, S юз ва диэлектрик сингдирувчанлик анча катта бўлиши мумкин. Шунинг учун конденсаторни ўлчамлари унча катта бўлмаган ҳолда ҳам унинг электр сиғимини катта қилиш мумкин. Аммо, электр сиғими 1 Ф бўлган ясси конденсатор пластинкалари орасидаги масофа $d = 1 \text{ мм}$ бўлганда пластинкаларнинг юзи $S = 100 \text{ км}^2$ бўлиши керак.

Диэлектрик сингдирувчанликни ўлчаш. Конденсатор сиғими билан унинг қопламалар орасига қўйилган модданинг электр хоссалари орасидаги муносабатдан модданинг диэлектрик сингдирувчанлигини ўлчашда фойдаланилади. Бунинг учун конденсаторнинг қопламалари орасига диэлектрик пластинка қўйилган ҳолдаги сиғими C билан қопламалар орасига диэлектрик пластинка қўйилмаган ҳолдаги сиғим (C_0) нинг нисбатини тажрибада аниқлаш керак. (7.30) формуладан диэлектрик сингдирувчанлик.

$$\epsilon = \frac{C}{C_0}.$$

Конденсаторларнинг ҳар хил турлари. Вазифасига қараб конденсаторларнинг тузилиши ҳар хил бўлади. Одатдаги қоғозли техник конденсатор бир-биридан ва металл корпусдан парафин шимдирилган қоғоз лента билан изоляцияланган иккита алюминий

фольга лентасидан иборат. Алюминий лента билан қоғоз лента кичикрок пакет шаклида зич қилиб ўралган.

Радиотехникада ўзгарувчан электр сизимли конденсаторлар кенг қўлланилади (102-расм). Бундай конденсатор металл пластинкаларнинг иккита системасидан иборат бўлиб, улар конденсатор дастаси буралганда бири иккинчисининг ичига қиради. Бунда пластинкаларнинг бир-бирини қоплайдиган қисмининг юзи ва бинобарин электр сизими ўзгаради. Бундай конденсаторларда диэлектрик вазифасини ҳаво бажаради.

Электролитик конденсаторлар деб аталадиган конденсаторларда (103-расм) копламалар орасидаги масофани камайтириш ҳисобида диэлектрик сизими анча орттирилади. Буларда диэлектрик ўрнида пластинкалардан бирини (фольга лентасини) коплаб олган юпка оксид парда бўлади. Иккинчи коплама вазифасини махсус модда эритмаси (электролит) шимдирилган қоғоз ўтайди.

Конденсаторлар электр зарядини жамғаришга имкон беради. Ясси конденсаторнинг электр сизими пластинкалар юзи билан пластинкалар орасидаги муҳитнинг диэлектрик сингдирувчанлиги кўпайтмасига тўғри пропорционал ва пластинкалар орасидаги масофага тескари пропорционал бўлади.

! 1. Электр сизими нималарга боғлиқ? 2. Модданинг диэлектрик сингдирувчанлигини конденсатор ёрдамида қандай қилиб ўлчаш мумкин?

51- §. ЗАРЯДЛАНГАН КОНДЕНСАТОРНИНГ ЭНЕРГИЯСИ. КОНДЕНСАТОРЛАРНИНГ ҚўЛЛАНИЛИШИ

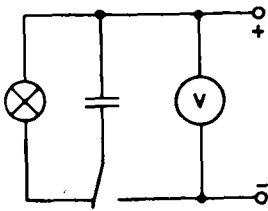
Зарядланган жисмларнинг ҳар қандай системаси каби конденсатор ҳам энергияга эгадир. Ичидаги майдони бир жинсли бўлган зарядланган ясси конденсаторнинг энергиясини ҳисоблаб топиш қийин эмас.

Зарядланган конденсаторнинг энергияси. Конденсаторни зарядлаш учун мусбат ва манфий зарядларни ажратиш бўйича иш бажариш керак. Энергиянинг сақланиш қонунига асосан бу иш конденсаторнинг энергиясига тенг. Зарядланган конденсатор энергияга эга бўлишини текшириб кўриш учун конденсаторни бир неча вольт кучланишга мўлжалланган чўғланма лампочкали занжир орқали зарядсизлаш керак (104-расм). Конденсатор зарядсизланганда лампочка ярқ этиб ёнади. Конденсаторнинг энергияси иссиқлик ва ёруғлик энергиясига айланади.

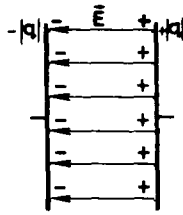
Ясси конденсатор энергиясининг ифодасини топамиз.

Пластинкалардан бирининг заряди ҳосил қилган майдоннинг кучланганлиги $E/2$ га тенг бўлади, бу ерда E конденсатор ичидаги майдоннинг кучланганлиги. Бу пластинканинг бир жинсли майдонида иккинчи пластинканинг сиртига тақсимланган q заряд туради (105- расм). Бир жинсли майдонда турган заряднинг потенциал энергиясини ифодаловчи (7.21) формулага асосан конденса-

$$W_p = q \frac{E}{2} d, \quad (7.31)$$



104-расм



105-расм

торнинг энергияси бўлади, бу ерда $-q$ конденсаторнинг заряди, d — пластинкалар орасидаги масофа¹
 $Ed = U$ бўлганлиги туфайли (бу ерда U — конденсатор копламлари орасидаги потенциаллар айирмаси) конденсатор-

нинг энергияси қуйидагига тенг бўлади: $W_p = \frac{qU}{2}$. (7.32)

Бу энергия конденсатор пластинкаларини бир-бирига такалгунча яқинлаштирганда электр майдон бажарадиган ишга тенг.

(7.32) формулада потенциаллар айирмасини ёки зарядни конденсатор сифмининг (7.29) ифодаси ёрдамида алмаштириб, энергияни қуйидагича ифодалаймиз:

$$W_p = \frac{qU}{2} = \frac{q^2}{2C} = \frac{CU^2}{2}. \quad (7.33)$$

Бу формулалар фақат ясси конденсаторнинг энергияси учунгина эмас, балки ҳар қандай конденсаторнинг энергияси учун ҳам ўринли эканлигини исбот этиш мумкин.

Электр майдоннинг энергияси. Яқиндан таъсир қилиш назариясига асосан зарядли жисмлар ўзаро таъсирининг бутун энергияси бу жисмларнинг электр майдонига тўпланган. Демак, энергия майдоннинг асосий характеристикаси бўлмиш кучланганлик орқали ифодаланиши мумкин.

Электр майдоннинг кучланганлиги потенциаллар айирмасига тўғри пропорционал ($U = Ed$) бўлгани учун $W_p = \frac{CU^2}{2}$ формула-

га асосан, конденсаторнинг энергияси конденсатор ичидаги электр майдоннинг кучланганлигига тўғри пропорционалдир: $W_p \sim \sim E^2$. Синчиклаб ўтказилган ҳисоб майдоннинг бирлик ҳажмга тўғри келган энергияси қийматини яъни энергия зичлиги қуйидагича бўлишини кўрсатади:

$$W_p = \frac{\epsilon \epsilon_0 E^2}{2} \quad (7.34)$$

бу ерда ϵ_0 — электр доимийси (36- § га к.).

Конденсаторларнинг қўлланилиши. Конденсаторнинг энергияси одатда унча катта бўлмайди — у бир неча юз жоулдан ортик

¹ (7.21) формула бир жинсли майдонда турган нуқтавий заряднинг энергияси учун ўринли бўлади. Бироқ пластинкадаги зарядни фикран жуда кичик Δq элементларга ажратиш мумкин. Ҳар бир бундай элементнинг энергияси $\Delta W_p = \Delta q \frac{E}{2} d$. Бу энергияларни қўшсак, (7.31) формула келиб чиқади.

эмас. Бунинг устига, заряднинг мукаррар равишда окиб кетиб туриши туфайли бу энергия узок сакланиб турмайди ҳам. Шунинг учун зарядланган конденсаторлар, масалан, электр энергияси манбан сифатида аккумуляторлар ўрнини босолмайди.

Бироқ бундан конденсаторлар энергия жамғарувчи сифатида амалда қўлланилмайди, деган фикр келиб чикмаслиги керак. Конденсаторларнинг жуда муҳим бир хоссаси бор. Конденсатор энергияни бирор муддат давомида тўплай олади, қаршилиги оз бўлган занжир орқали зарядсизланганда эса ўзидаги энергияни деярли бир зумда беради. Унинг худди мана шу хоссасидан амалда кенг фойдаланилади.

Масалан, фотографияда қўлланиладиган яркиллама лампа олдиндан махсус батареядан зарядланган конденсаторнинг зарядсизланишда берадиган ток билан ёнади. Еруғликнинг квант манбалари бўлмиш лазерлар газразряд трубкида воситасида ишга солинади: электр сиғими катта бўлган конденсаторлар батареяси зарядсизланганда газразряд ярк этиб ёнади.

Бироқ конденсаторлар асосан радиотехникада қўлланилади. Бу билан сиз XI синфда танишасиз.

Конденсаторнинг энергияси унинг электр сиғими ва пластинкалар орасидаги кучланишнинг квадратига пропорционал. Бутун бу энергия электр майдонига тўпланган. Майдон энергияси зичлиги майдон кучланганлигининг квадратига пропорционалдир.

1. Зарядланган конденсаторнинг энергияси нимага тенг? 2. Конденсаторлар асосан қаерларда қўлланилади?

МАСАЛА ЕЧИШ НАМУНАЛАРИ

Электр сиғими «Электростатика» бўлимининг охирги темасидир. Бу темага доир масалаларни ечишда электростатикани ўрганишда олинган ҳамма маълумотлар: электр зарядининг сакланиши қонуни, майдон кучланганлиги ва потенциал тушунчалари, электростатик майдондаги ўтказгичларнинг характери, диэлектрикларда майдон кучланганлигининг ўзгариши, электростатик ҳодисаларда энергиянинг сакланиш қонуни керак бўлиб қолиши мумкин.

Электр сиғими ва доир масалаларни ечишда асосан электр сиғимининг (7.29) формуласи ишлатилади.

1. Конденсаторнинг электр сиғими $C=5$ пФ. Агар конденсаторнинг қопламалари орасидаги потенциаллар айирмаси $U=1000$ В бўлса, ҳар бир қопламада қанча заряд бўлади?

Ечилиши. (7.29) формулага асосан, конденсаторнинг электр сиғими $C = \frac{q}{U}$. Бундан қопламанинг заряди $q = CU$ бўлади; $q = 5 \times 10^{-12} \cdot 1000$ Кл = $5 \cdot 10^{-9}$ Кл.

2. Конденсаторнинг заряди $q = 3 \cdot 10^{-8}$ Кл. Конденсаторнинг сифими $C = 10$ пФ. Конденсатор ичида бир пластинкадан иккинчи пластинкага боргунча электрон қандай тезлик олишини аниқланг. Электроннинг бошланғич тезлиги нолга тенг, бўлган. Электроннинг солиштирма заряди $\frac{e}{m} = 1,76 \cdot 10^{11}$ Кл/кг.

Ечилиши. Электроннинг бошланғич кинетик энергияси нолга тенг, потенциал энергияси $W_p = eU$, бу ерда U — конденсатор пластинкалари орасидаги кучланиш. Электроннинг охириги кинетик энергияси $\frac{mv^2}{2}$ га тенг, потенциал энергияси нолга тенг (потенциал энергиянинг нолинчи сатҳи иккинчи пластинкада олинган ҳолда). Энергиянинг сақланиш қонунига асосан $\frac{mv^2}{2} = eU$. Конденсаторнинг сифими $C = \frac{q}{U}$. Бундан U кучланишни топиб, уни олдинги формулага қўямиз:

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{eq}{C}.$$

Бундан

$$v = \sqrt{\frac{2eq}{mC}} \approx 1 \cdot 10^7 \text{ м/с.}$$

9- МАШҚ.

1. Сифими 0,1 мкФ бўлган конденсаторда пластинкалар орасидаги потенциаллар айирмаси 175 В га ўзгаради. Конденсатор зарядининг ўзгаришини аниқланг.

2. Слюда диэлектрикли ясси конденсаторнинг заряди $2,7 \cdot 10^{-4}$ Кл га тенг. Конденсаторнинг пластинкалари оралиғи 0,23 мм, диэлектрик бўлмаган ҳолдаги сифими 0,01 мкФ. Слюданинг диэлектрик сингдирувчанлиги 7 га тенг. Майдоннинг диэлектрикдаги кучланганлигини аниқланг.

3. Ясси конденсаторнинг пластинкалари орасидаги фазога электрон пластинкаларга параллел йўналишда $2 \cdot 10^7$ м/с тезлик билан учиб киради. Агар конденсаторнинг узунлиги 0,05 м ва пластинкалар орасидаги потенциаллар айирмаси 200 В бўлса, бу электрон конденсатор ичида ҳаракат қилганда мусбат зарядли пластинкага томон қандай масофага сурилади? Конденсаторнинг пластинкалари орасидаги масофа 0,02 м. Электрон зарядининг масасига нисбати $1,76 \cdot 10^{11}$ Кл/кг.

4. Ясси конденсатор кучланиши $U = 200$ В бўлган манбадан зарядланган. Кейин конденсатор манбадан ажратилган. Агар пластинкалар орасидаги масофа дастлабки $d = 0,2$ мм қийматидан $d_1 = 0,7$ мм гача орттирилса ва пластинкалар ораси слюда билан тўлдирилса, пластинкалар орасидаги кучланиш U_1 нимага тенг бўлади? Слюданинг диэлектрик сингдирувчанлиги $\epsilon = 7$.

5. Олдин зарядлиб, кейин манбадан ажратилган конденсаторнинг пластинкалари ораси диэлектрик сингдирувчанлиги $\epsilon = 3$ бўлган диэлектрик билан тўлдирилса, конденсаторнинг энергияси неча мартага ўзгаради?

6. 4-масалада тилган олинган конденсаторнинг электр майдони энергиясининг зичлигини аниқланг.

VII БОБНИНГ ҚИСКАЧА ЯҚУНЛАРИ¹

1. Қўзғалмас q_1 ва q_2 нуқтавий электр зарядлари вакуумда Кулон қонунига мувофиқ

$$F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$$

куч билан ўзаро таъсирлашади, бу ердаги коэффициент $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$.

Заряд кулон ҳисобида ифодаланади.

2. Зарядланган жисмларнинг ёпиқ системасида заряд сақланади.

3. Зарядлар электр майдони воситасида ўзаро таъсирлашади.

Майдоннинг кучланганлиги \vec{E} зарядга таъсир этувчи кучни аниқлайди: $\vec{F} = q\vec{E}$. Алоҳида зарядлар ҳосил қилган майдонларнинг кучланганликларини геометрик равишда қўшилади (суперпозиция принципи).

4. Нуқтавий заряд электр майдонининг вакуумдаги кучланганлиги қуйидагига тенг:

$$E = k \frac{|q|}{r^2}.$$

5. Ўтказгичларда эркин электр зарядлари бўлади. Ўтказгич ичида электр майдонининг кучланганлиги ва заряд нолга тенг бўлади (электростатикада).

6. Диэлектрикларда ҳамма зарядлар алоҳида атом ёки молекулалар ичида боғланган бўлади. Бир жинсли диэлектрикда электр майдони ϵ марта камаяди (ϵ — диэлектрик сингдирувчанликдир).

7. Электростатик майдон потенциалли майдондир: бу майдоннинг иши заряд траекториясининг шаклига боғлиқ эмас ва бу иш потенциал энергия ўзгаришининг тескари ишора билан олинган қийматига тенг: $A = -\Delta W_{p1}$.

8. Бир жинсли майдондаги заряднинг потенциал энергияси $W_p = qEd$, бу ерда d — потенциал энергия нолга тенг деб олинган тексликдан бошлаб ҳисобланадиган масофа.

9. Электр майдоннинг потенциал деб майдондаги заряд потенциал энергиясининг ўша зарядга нисбатига айтилади:

$$\varphi = \frac{W_p}{q}.$$

Икки нуқта орасидаги потенциаллар айирмаси (кучланиш) зарядни бошланғич нуқтадан охириги нуқтага кўчиришда майдон бажарган ишнинг ўша зарядга нисбатига тенг: $U = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A}{q}$. Потенциаллар айирмаси вольт билан ифодаланади: $1 \text{ В} = 1 \text{ Ж}/1 \text{ Кл}$.

¹ Олдинги боблардаги қисқача яқунларга берилган эслатмаларга қараиң. Бу бобда муҳим хулосалар кўп, ўнтадан ортиқ.

10. Майдон кучланганлиги потенциаллар айирмаси билан

$$E = \frac{U}{\Delta d}$$

формула орқали боғланган, бу ерда U — аини бир куч чизигида бири-бирдан жуда кичик Δd масофада турган икки нуқта орасидаги потенциаллар айирмаси.

11. Ўтказгичларнинг электр зарядлари жамғариш қобилияти электр сиғими билан ифодаланади. Икки ўтказгичнинг электр сиғими қуйидагига тенг:

$$C = \frac{q}{U},$$

бу ерда q — ўтказгичлардан бирининг заряди (иккинчи ўтказгичда бунга қарама-қарши ишорали заряд бўлади), U — ўтказгичлар орасидаги потенциаллар айирмаси.

Электр сиғими фарадларда ифодаланади: $1 \text{ Ф} = \frac{1 \text{ Кл}}{1 \text{ В}}$.

12. Ўлчамлари орасидаги масофадан анча катта бўлган икки ўтказгичдан иборат системалар конденсатор деб аталиб, уларда заряд энг кўп жамғарилади.

13. Зарядланган конденсаторнинг энергияси $W_p = \frac{qU}{2}$.

* * *

Электрни ўрганишга бизнинг анча кўп вақтимиз кетди, лекин бу вақт ичида биз зарядли кўзгалмас жисмларнинг энг оддий хусусий холи бўлмиш электростатиканигина кўриб чикдик. Балки электростатикага бунчалик кўп эътибор бериш арзимас? Йўқ, арзийди! Биз бутун электродинамикада ишлатиладиган қуйидаги энг мухим тушунчаларни киритдик: электр заряди, электр майдон, потенциал ва потенциаллар айирмаси, электр сиғими, электр майдонининг энергияси. Бу асосий тушунчаларнинг моҳиятини ҳаракатланувчи зарядларнинг умумий ҳолидан кўра, энг оддий хусусий аниқлаш унча қийин эмас.

Энди зарядли зарралар ҳаракатланганда бўладиган электромагнит жараёнларни ўрганишга ўтамыз.

УЗГАРМАС ТОК ҚОНУНЛАРИ

Амалда кўзгалмас электр зарядларидан кам фойдаланилади. Электр зарядларини бизга хизмат килдириш учун уларни ҳаракатга келтириш — электр токи ҳосил килиш керак. Электр токи хоналаримизни ёритади, станокларни ҳаракатга келтиради, радиотўлкинлар ҳосил килади, барча электрон-ҳисоблаш машиналарини ишга туширади.

Биз зарядли зарраларни ҳаракатга келтиришнинг энг оддий ҳолини кўриб чиқишдан бошлаймиз, яъни ўзгармас электр токни ўрганамиз.

52- §. ЭЛЕКТР ТОКИ. ТОК КУЧИ

Электр токи деб нимага айтилишига аниқ таъриф берамиз.

Ток миқдорий жиҳатдан қандай миқдор билан таърифланишини эсингизга тушираемиз.

Сизнинг хонангиздаги ўтказгичларда электронлар қандай тезликда ҳаракат килишини топамиз.

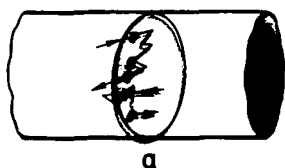
Зарядли зарралар ҳаракат қилганда электр заряди жойдан-жойга кўчади. Бирок зарядли зарралар тартибсиз иссиқлик ҳаракат қилса, масалан, *металлдаги эркин электронлар* каби ҳаракат қилса, заряд кўчмайди (106, а-расм). Электронлар тартибсиз ҳаракат билан бирга тартибли ҳаракат ҳам қилган ҳолдагина электр заряди ўтказгичнинг кесими орқали кўчади (106, б-расм). Бу ҳолда ўтказгичда *электр токи* бор деб гапирилади.

Зарядли зарраларнинг тартибли (бир томонга йўналган) ҳаракати электр токи деб аталишини Сиз VIII синф физика курсидан биласиз. Электр токи эркин электронлар ёки ионларнинг тартибли кўчишида пайдо бўлади.

Бирок бутунича олиб қаралганда нейтрал бўлган жисм кўчирилса, ғоят кўп электрон ва атом ядроларининг тартибли ҳаракат қилишига қарамай, электр токи пайдо бўлмайди. Бунда ўтказгичнинг ҳар қандай кесими орқали ўтаётган тўлиқ заряд нолга тенг бўлади, чунки ҳар хил ишорали зарядлар бир хил ўртача тезлик билан кўчади.

Электр токи маълум бир йўналишга эга бўлади. *Ток йўналиши* деб *мусбат зарядли зарралар ҳаракатининг йўналиши қабул қилинади*. Агар ток манфий зарядли зарралар ҳаракатидан ҳосил бўлган бўлса, ток йўналиши зарралар ҳаракатининг йўналишига қарама-қарши деб ҳисобланади¹.

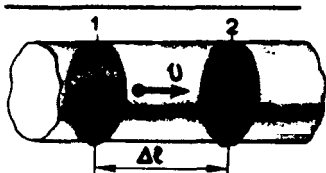
¹ Ток йўналишини бундай танлаш унча яхши эмас, чунки кўпчилик ҳолларда ток манфий зарядли зарралар бўлмиш электронлар ҳаракатидан иборат бўлади. Ток йўналиши металллардаги эркин электронлар ҳақида ҳали ҳеч қандай маълумот бўлмаган замонларда танланган.



а



б 106-расм



107-расм

Токнинг таъсирлари. Заррларнинг ўтказгичдаги ҳаракатини биз бевосита кузата олмаймиз. Лекин электр токи борлигини ток туфайли юз берадиган таъсирлар ёки ҳодисаларга қараб билиш мумкин.

Биринчидан, ток ўтказаятган ўтказгич исийди.

Иккинчидан, электр токи ўтказгичнинг химиявий таркибини ўзгартира олади, масалан, унинг химиявий таркибий қисмларини (мис купороси эритмасидан мисни ва ҳоказо) ажрата олади.

Учинчидан, ток қўшни токларга ва магнитланган жисмларга куч билан таъсир қилади. Токнинг бу таъсири магнит таъсир деб аталади. Масалан, токли ўтказгич ёнида турган магнит стрелкаси бурилади. Токнинг магнит таъсири, унинг химиявий ва иссиқлик таъсиридан фаркли ўларок, асосий таъсир ҳисобланади, чунки магнит таъсир мустасносиз ҳамма ўтказгичларда бўлади. Токнинг химиявий таъсири фақат электролитларнинг эритмалари ва аралашмаларида юз беради, ўта ўтказгичлар эса исимайди (к. 70-§).

Ток кучи. Агар занжирда электр токи бўлса, бу ҳол ўтказгичнинг кўндаланг кесими орқали ҳамма вақт электр заряди ўтиб турганини билдиради. Вақт бирлиги ичида ўтган заряд токнинг асосий микдорий характеристикаси ҳисобланиб, бу характеристика ток кучи деб аталади. Агар Δt вақт ичида ўтказгичнинг кўндаланг кесими орқали Δq заряд ўтса, ток кучи

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad (8.1)$$

бўлади.

Шундай қилиб, ток кучи¹ ўтказгичнинг кўндаланг кесимидан Δt вақт ичида ўтган Δq заряднинг ўша вақтга нисбатига тенг. Агар ток кучи вақт ўтиши билан ўзгармаса, ток ўзгармас ток деб аталади.

¹ «Ток кучи» атамаси тўғри танланган деб бўлмайди, чунки токка нисбатан ишлатилганда «куч» сўзи механикадаги куч сўзига ҳеч қандай алоқаси йўқ. Лекин «ток кучи» атамасининг фанга кирганига кўп вақт бўлган ва у жуда сингиб кетган.

Ток кучи заряд каби скаляр катталиқдир. Ток кучи мусбат бўлиши ҳам, манфий бўлиши ҳам мумкин. Ток кучининг ишораси ўтказгич бўйлаб олинган йўналишлардан қайси бири мусбат йўналиш деб ҳисобланишига боғлиқ. Агар ток йўналиши ўтказгич бўйлаб шартли равишда танлаб олинган мусбат йўналиш бир хил бўлса, ток кучи $I > 0$ бўлади. Акс ҳолда $I < 0$ бўлади.

Ток кучи ҳар бир зарра олиб ўтадиган зарядга, зарралар концентрациясига, уларнинг тартибли ҳаракатининг тезлигига ва ўтказгичнинг кўндаланг кесим юзига боғлиқ. Буни исбот қиламиз.

Ўтказгичнинг кўндаланг кесим юзи S бўлсин (107-расм). Ўтказгичда мусбат йўналиш деб чапдан ўнгга томон йўналишни оламиз. Ҳар бир зарранинг заряди q_0 га тенг. Ўтказгичнинг l ва 2 кесимлар билан чегараланган ҳажмида $n S \Delta l$ дона зарра бўлади, бу ерда n — зарралар концентрацияси. Уларнинг умумий заряди $q = q_0 n S \Delta l$.

Агар зарралар чапдан ўнгга томон ўртача v тезлик билан ҳаракат қилса, у ҳолда мана шу ҳажм ичидаги ҳамма зарралар $\Delta t = \frac{\Delta l}{v}$ вақт ичида 2 кесимдан ўтади. Шунинг учун ток кучи қуйидагига тенг:

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{q_0 n S \Delta l v}{\Delta l} = q_0 n v S. \quad (8.2)$$

Халқаро бирликлар системасида ток кучи ампер (А) ҳисобида ифодаланади. Бу бирлик тоқларнинг магнит ўзаро таъсири асосида аниқланади. Ток кучи амперметрлар билан ўлчанади. Бу асбобларнинг тоқнинг магнит таъсирига асосланган тузилиш принципи билан кейинроқ таништирамиз.

Ўтказгичдаги электронлар тартибли ҳаракатининг тезлиги. Металл ўтказгичдаги электронлар тартибли кўчишининг тезлигини топамиз. (8.2) формулага асосан, $v = \frac{I}{enS}$, бу ерда e электрон зарядининг модули. Ток кучи $I = 1$ А, ўтказгичнинг кўндаланг кесим юзи $S = 10^{-6}$ м² бўлсин. Электрон зарядининг модули $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. 1 м³ мисдаги электронлар сони шу ҳажмдаги атомлар сонига тенг, чунки ҳар бир мис атомининг валентлик электронларидан бири муштараклашган бўлиб, эркин электрон ҳисобланади. Бу сон $n = 8,5 \times 10^{28}$ м⁻³ (1-машқдаги 7-масалага қ.). Бинобарин,

$$v = \frac{1}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 8,5 \cdot 10^{28} \cdot 10^{-6}} \frac{\text{м}}{\text{с}} = 7 \cdot 10^{-5} \text{ м/с.}$$

Электронлар тартибли кўчишининг тезлиги жуда кичик экани кўриниб турибди.

Электр тоқининг асосий миқдорий характеристикаси — ток кучидир. Ток кучи ўтказгичнинг кўндаланг кесими юзидан вақт бирлиги ичида ўтадиган электр заряди билан аниқланади. Зарядли зарралар (электронлар) нинг ўтказгичдаги тезлиги жуда кичик бўлиб, 0,1 мм/с атрофидадир.

- ! 1. Электр токи деб нимага айтилади? 2. Ток кучи деб нимага айтилади?
3. Токнинг қандай йўналиши мусбат йўналиш деб олинади? 4. Ампер нима? 5. Электронларнинг ўтказгичдаги тезлиги пиёдалар тезлигидан қанчага фарқ қилади?

53-§. ЭЛЕКТР ТОКИНИНГ МАВЖУД БЎЛИШ ШАРТЛАРИ

Электр токи ҳосил қилиш учун нималар зарур? Бу ҳақда аввал ўзингиз ўйлаб кўринг, шундан кейингина бу параграфни ўқинг.

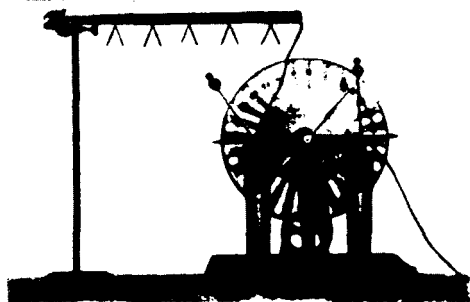
Ўзгармас электр токи пайдо бўлиши ва бўлиб туриши учун мождада, биринчидан, зарядли эркин зарралар мавжуд бўлиши лозим. Агар мусбат ва манфий зарядлар атом ёки молекулаларда бир-бирига боғланган бўлса, уларнинг кўчиши электр токи пайдо бўлишига олиб келмайди.

Бирок эркин зарядларнинг борлиги ток пайдо бўлиши учун етарли эмас. Зарядли зарраларни тартибли ҳаракатга келтириш ва бу ҳаракатни тўхтатмай туриш учун, иккинчидан, бу зарраларга маълум бир йўналишда таъсир қилиб турадиган куч бўлиши зарур. Агар бу куч таъсир этмай қўйса, зарядли зарраларнинг тартибли ҳаракати тўхтайдди, чунки бу ҳаракатга металларнинг кристалл панжарасидаги ионлар ёки электролитларнинг нейтрал молекула-лари қаршилик қилади.

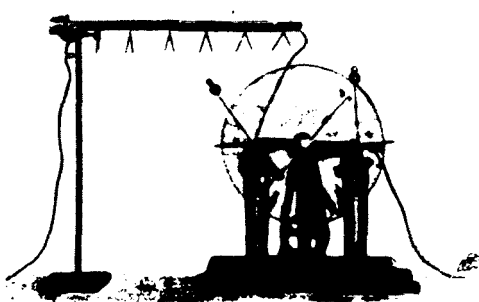
Биз биламизки, электр майдони зарядли зарраларга $\vec{F} = q\vec{E}$ куч билан таъсир қилади. Одатда зарядли зарраларнинг тартибли ҳаракатга келишига ва бу ҳаракатнинг тўхтаб қолмаслигига ўтказгич ичидаги аини ўша электр майдон сабаб бўлади. Зарядлар тинч турган статик ҳолатдагина ўтказгич ичида электр майдон нолга тенг бўлади.

Агар ўтказгичнинг ичида электр майдон бўлса, ўтказгичнинг учлари орасида (7.28) формулага мувофиқ равишда потенциаллар айирмаси мавжуд бўлади. Бу потенциаллар айирмаси вақт ўтиши билан ўзгармаган ҳолда ўтказгичда ўзгармас ток қарор топади. Ўтказгич бўйлаб потенциал ўтказгичнинг бир учидаги энг катта қийматидан иккинчи учидаги энг кичик қийматига қадар ка-маяди. Потенциалнинг бу камайишини оддий тажрибада кўриш мумкин.

Ўтказгич сифатида ҳўлроқ ёғоч таёк олиб, уни горизонтал вазиятда осиб кўямиз. (Бундай таёк токни яхши ўтказмаса ҳам, ҳар қалай ўтказди.) Электростатик машина кучланиш манбаи бўлсин. Ўтказгичнинг турли қисмларининг ерга нисбатан потенциалини қайд қилиш учун таёкка ёпиштирилган фольга япроқчаларидан фойдаланиш мумкин. Машинанинг бир қутбини ерга, иккинчи қутбини ўртказгичнинг (таёкнинг) учларидан бирига улаймиз. Бу ҳолда занжир ёпик бўлмайди. Машинанинг дастасини айлантира бошласак, барча япроқчалар аини бир бурчакка очилганини кўрамиз (108, а-рasm). Демак, ўтказгичдаги ҳамма нуқталарнинг ерга нисбатан потенциали бир хил экан. Ўтказгич сиртида зарядлар мувозанатда бўлганда шундай бўлиши ҳам



108 а-расм



108 б-расм

керак. Агар энди таёкнинг иккинчи учи ерга уланса, машина дастасини бураганда манзара ўзгаради (Ер ўтказгич бўлгани учун ўтказгич ерга уланганда занжир ёпик бўлиб қолади). Таёкнинг ерга уланган учи томонидаги япроқчалар умуман очилмайди. яъни ўтказгичнинг бу учининг потенциали амалда ер потенциалига тенг бўлади (уловчи металл симда потенциал тушуви жуда кичикдир). Ўтказгичнинг машинага уланган учи томонидаги япроқчалар энг катта бурчакка очилади (108, б-расм). Машинадан узоклашилган сари япроқчалар камрок бурчакка очилиши ўтказгич бўйлаб потенциалнинг пасайиб боришини кўрсатади.

Электр токи эркин зарралари бўлган моддада ҳосил қилиниши мумкин. Улар ҳаракатга келиши учун ўтказгичда электр майдон ҳосил қилиш керак.

‡ 1. Ўтказгич бўйлаб потенциалнинг ўзгаришини кузатиш учун нима сабабдан бир парча металл ўтказгич эмас, ёғоч таёқ ишлатилади?

54- §. ЗАНЖИРНИНГ БИР ҚИСМИГА ОИД ОМ ҚОНУНИ. ҚАРШИЛИК

VIII синфда Ом қонуни ўрганилган эди. Бу қонун жуда оддий, лекин шунчалик муҳимки, уни такрорлаш зарур.

Вольт-ампер характеристика. Бундан олдинги параграфда аниқланганидек, ўтказгичдан ток ўтиб туриши учун унинг учларида потенциаллар айирмаси ҳосил қилиш керак. Ўтказгичдаги ток кучи мана шу потенциаллар айирмасига боғлиқ бўлади. Потенциаллар айирмаси қанчалик катта бўлса, ўтказгичдаги электр майдоннинг кучланганлиги шунчалик катта бўлади ва демак, зарядли зарраларнинг тартибли ҳаракат тезлиги шунчалик катта бўлади. Бу тезлик катта бўлганда, (8.2) формулага асосан ток кучи ортади.

Хоҳ қаттиқ, хоҳ суюқ, хоҳ газ ҳолатидаги ҳар бир ўтказгич учун унга қўйилган потенциаллар айирмаси билан ток кучи орасида маълум бир боғланиш мавжуд бўлади. Бу боғланишни *ўтказгичнинг вольт-ампер характеристикаси* ифодалайди. Бунини топиш учун турли қийматларига мос келган ток кучи ўлчанади.

Электр токини ўрганишда вольт-ампер характеристикани билиш катта аҳамиятга эга.

Ом қонуни. Металл ўтказгич ва электролитлар эритмасининг вольт-ампер характеристикаси энг содда кўринишда бўлади. Бу қонунни (металлар учун) биринчи бўлиб немис олими Г е о р г О м аниқлаган. Шунинг учун ток кучи билан кучланиш орасидаги муносабат *Ом қонуни* деб аталади.

Занжирнинг 109-расмда кўрсатилган қисмида ток I нуқтадан 2 нуқтага томон йўналган. Ўтказгичнинг учларидаги потенциаллар айирмаси (кучланиш) $U = \varphi_1 - \varphi_2$. Ток чапдан ўнг томонга йўналган бўлгани учун электр майдоннинг кучланганлиги ҳам ўша томонга йўналади ва $\varphi_1 > \varphi_2$ бўлади.

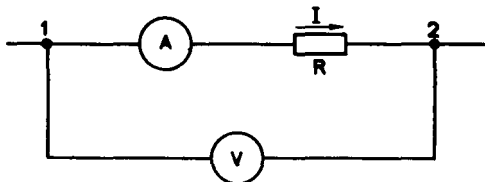
Занжирнинг бир қисми учун Ом қонунига асосан, ток кучи ўтказгичга берилган кучланиш U га тўғри пропорционал ва ўтказгичнинг қаршилиги R га тескари пропорционал-дир:

$$I = \frac{U}{R}. \quad (8.3)$$

Ом қонунининг шакли жуда оддий, бироқ унинг тўғрилигини тажрибада исбот қилиш анча қийин. Гап шундаки, ток кучи катта бўлганда ҳам металдан ясалган ўтказгичнинг бир қисмида потенциаллар айирмаси жуда кичик бўлади, чунки ўтказгичнинг қаршилиги жуда кичик. 48-§да тилга олинган электромтр бунчалик кичик кучланишларни ўлчашга ярамайди, чунки унинг сезгирлиги жуда паст.

Бу ўринда бекиёс даражада сезгир асбоб керак. Шунда ток кучини амперметр билан, кучланишни сезгир электромтр билан ўлчаб, ток кучи кучланишга тўғри пропорционал эканини кўриш мумкин.

Кучланишни ўлчашда ишлатиладиган асбобларнинг, яъни вольтметрларнинг қўлланилиши Ом қонунига асосланган. Вольтметрнинг тузилиш принципи худди амперметрники каби бўлади. Асбоб стрелкасининг бурилиш бурчаги ток кучига пропорционал. Вольтметр орқали ўтаётган ток кучи занжирнинг вольтметр уланган нукталари орасидаги кучланиш билан аниқланади. Шунинг учун вольтметрнинг қаршилиги маълум бўлса, ток кучига қараб кучланишни аниқлаш мумкин. Амалда асбоб тўғридан-тўғри вольт ҳисобидаги кучланишни кўрсатадиган қилиб даражаланади.



109-расм

Қаршилик. *Ўтказгичнинг асосий электр характеристикаси — қаршилик-дир. Кучланишнинг маълум қийматига мос келган ўтказгичдаги ток кучи қаршилик-ка боғлиқ бўлади. Ўтказгич-*

Ом Георг Симон (1787—1854) — машхур немис физици. Мактабда ўқитувчилик қилган. У занжирнинг бир қисми учун ток кучининг кучланишга боғлиқлиги тўғрисидаги қонунни ва берк занжирдаги ток кучини аниқлайдиган қонунни кашф этган. Ток кучини ўлчайдиган сезгир асбобни Ом ўзи ясаган. Кучланиш манбаи сифатида термопарадан, яъни бирга қўшиб қавшарланган иккита ҳар хил металл ўтказгичдан фойдаланган. У қавшарланган жойларнинг ҳароратлари айирмасини кўтариш йўли билан кучланишни ўзгартирди; кучланиш ҳароратларнинг бу айирмасига пропорционалдир. Булардан ташқари, Ом ўтказгич қаршилигининг ўтказгич узунлигига ва кўндаланг кесим юзига боғлиқ эканлигини ҳам топди.



нинг қаршилиги $g_{\text{ў}}$ унинг ўзида электр токи қарор топишга кўрсатадиган акс таъсирининг ўлчови бўлади. (8.3) шаклида ёзилган Ом қонуни ёрдамида ўтказгичнинг қаршилигини аниқлаш мумкин:

$$R = \frac{U}{I}.$$

Бунинг учун кучланишни ва ток кучини ўлчаш керак.

Ўтказгичнинг қаршилиги унинг материалига ва геометрик ўлчамларига боғлиқ. Кўндаланг кесимининг юзи S ўзгармас бўлган l узунликдаги ўтказгичнинг қаршилиги қўйидагига тенг:

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (8.4)$$

бу ерда ρ — ўтказгич моддасининг тури ва ҳолатига (аввало, ҳароратига) боғлиқ бўлган катталлик. ρ катталик *ўтказгичнинг солиштирма қаршилиги* деб аталади. Солиштирма қаршилиқнинг сон қиймати қирраси 1 м бўлган куб шаклидаги ўтказгичнинг ток кубнинг иккита қарама-қарши ёғига ўтказилган нормал бўйлаб ўтаётган ҳолдаги қаршилигига тенг.

Ўтказгич қаршилигининг бирлиги Ом қонуни асосида аниқланади ва ом деб аталади. *Потенциаллар айирмаси 1 В бўлганда ўтказгичдаги ток 1 А бўлса, бу ўтказгичнинг қаршилиги 1 Ом бўлади.*

Солиштирма қаршилиқ бирлиги 1 Ом · м. Металларнинг солиштирма қаршилиги жуда кичик бўлади. Диэлектрикларнинг солиштирма қаршилиги жуда катта бўлади. Форзацдаги жадвалда баъзи моддалар солиштирма қаршилиқларининг қийматлари берилган.

Ом қонунининг аҳамияти. Кучланиш тайинли бўлган ва қаршилиқ маълум бўлган ҳолда Ом қонуни электр занжирдаги ток кучини аниқлайди. Шу билан бирга бу қонун токнинг иссиқлик, химиявий ва магнит таъсирларини ҳисоблаб топишга имкон беради, чунки бу таъсирлар ток кучига боғлиқ. Одатдаги ёритиш тармоғини қаршилиги жуда кичик бўлган ўтказгич билан

туташтириш хавфли экани Ом қонунидан келиб чиқади. Бунда ток кучи шунчалик катта бўлиб қоладики, бунинг оқибати ёмон бўлиши мумкин.

Ом қонуни — ўзгармас тоқлар электротехникасининг асосидир.

$I = \frac{U}{R}$ формулани яхши тушуниб олиб, эсдан чиқармаслик керак.

! 1. Ом қонунига асосан қаршилик $R = \frac{U}{I}$. Бу формулага қараб қаршилик ток кучи ёки кучланишга боғлиқ дейиш тўғрими? 2. Ўтказгичнинг солиштирма қаршилиги нима? 3. Ўтказгичнинг солиштирма қаршилиги қандай бирликларда ифодаланади?

55-§. ЭЛЕКТР ЗАНЖИРЛАРИ. ЎТКАЗГИЧЛАРНИ КЕТМА-КЕТ ВА ПАРАЛЛЕЛ УЛАШ

Энергия ток манбаидан симлар орқали энергияни истеъмол қиладиган электр лампасига, радиоприёмник ва бошқа қурилмаларга узатилиши мумкин. Бунинг учун мураккаблиги турлича бўлган *электр занжирлари* йиғилади. Электр занжири энергия манбаи, электр энергияни истеъмол қиладиган қурилмалар, уловчи симлар ва занжирни туташтирадиган улагичдан иборат. Кўпинча электр занжирига ток кучини ва турли қисмлардаги кучланишни назорат қилиб турадиган амперметр ва вольтметрлар уланади.

Ўтказгичларни улашнинг энг содда ва кўп учрайдиган турлари кетма-кет ва параллел улашдир.

Ўтказгичларни кетма-кет улаш. Кетма-кет уланганда электр занжирини тармоқлар бўлмайди. Ҳамма ўтказгичлар занжирга бирининг кетидан бошқаси навбат билан уланади. Қаршилиги R_1 ва R_2 бўлган иккита 1 ва 2 ўтказгичнинг кетма-кет улиниши 110-расмда кўрсатилган. Булар иккита лампочка, электр двигателнинг иккита чулғами ва ҳоказолар бўлиши мумкин.

Ток кучи иккала ўтказгичда бир хил:

$$I_1 = I_2 = I, \quad (8.5)$$

чунки ўзгармас ток ўтаётган ҳолда ўтказгичларда электр заряди тўпланиб қолмайди ва ўтказгичнинг ҳар қандай қисми орқали маълум бир вақт ичида айни бир заряд ўтади.

Занжирнинг текширилайётган қисми учларидаги кучланиш биринчи ва иккинчи ўтказгичлардаги кучланишлардан ташкил топади:

$$U = U_1 + U_2.$$

Бу оддий муносабатни ўзингиз исбот қила оласиз деган умид-дамиз.



110-расм

бўлган қисмларига Ом қонунини татбиқ этиб, кетма-кет улашда тўла қаршилик

$$R = R_1 + R_2 \quad (8.6)$$

бўлишини исбот этиш мумкин. Кетма-кет уланган ўтказгичлар сони ҳар қанча бўлганда ҳам бу қондани қўллаш мумкин.

Ўтказгичлар кетма-кет уланганда улардаги кучланишлар ва уларнинг қаршилиқлари орасидаги муносабат қуйидагича бўлади:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}. \quad (8.7)$$

Ўтказгичларни параллел улаш. Қаршилиқлари R_1 ва R_2 бўлган иккита 1 ва 2 ўтказгичнинг параллел уланиши 111-расмда кўрсатилган. Бу ҳолда электр токи I икки қисмга тармоқланади. Биринчи ва иккинчи ўтказгичдаги ток кучларини I_1 ва I_2 билан белгилаймиз. Ўтказгичлар тармоқланган a нуктадан (бу нукта *туғун* деб аталади) электр заряди тўпланмагани учун туғунга вақт бирлиги ичида келадиган заряд ўша вақт ичида туғундан кетадиган зарядга тенг бўлиши керак. Бинобарин,

$$I = I_1 + I_2. \quad (8.8)$$

Параллел уланган ўтказгичлар учларидаги U кучланиш айни бир хил бўлади.

Еритиш тармоғида кучланиш 220 ва 127 В бўлади. Электр энергиясини истеъмол қиладиган асбоблар мана шу кучланишга мўлжаллаб чиқарилади. Шунинг учун параллел улаш ҳар хил истеъмолчиларни улашнинг энг кўп тарқалган усулидир. Бу ҳолда истеъмолчилардан биттаси бузилиб қолса бошқалари ишлайверади, кетма-кет уланганда эса бир асбоб (истеъмолчи) бузилиб қолса, бутун занжир узилиб қолади.

Занжирнинг бутун ҳисобига ва қаршилиқлар R_1 ва R_2 бўлган қисмларига Ом қонунини татбиқ этиб, ab қисмнинг тўла қаршилиғига тесқари бўлган миқдор айрим ўтказгичлар қаршилиқларига тесқари бўлган миқдорлар йиғиндисига тенг эканлигини исбот қилиш мумкин:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}. \quad (8.9)$$

Бундан

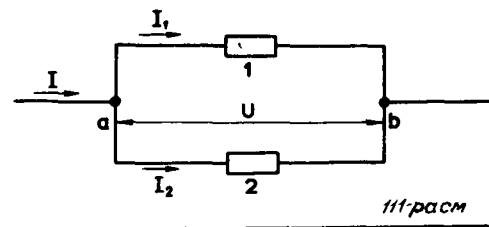
$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (8.10)$$

эканлиги келиб чиқади.

Ўтказгичлар параллел уланганда улардаги ток кучлари ва уларнинг қаршилиқлари орасидаги муносабат қуйидагича бўлади:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}. \quad (8.11)$$

Ҳар хил ўтказгичлар занжирда бир-бирига кетма-кет ёки параллел уланади. Кетма-кет уланганда ҳамма ўтказгичларда ток кучи



бир хил, параллел улганда эса кучланишлар бир хил бўлади. Қўпинча ёритиш тармоғига ҳар хил истемолчилар параллел уланади.

- ! 1. Нима учун хонадаги электр лампалар параллел уланади, арча маржондаги лампачалар эса кетма-кет уланади! 2. Ҳар бир лампанинг қаршилиги 1 Ом. Параллел уланганда бундай иккита лампанинг қаршилиги нимага тенг! Кетма-кет улангандачи! 3. Сиз ўтказгичларни параллел улаган-мисиз!

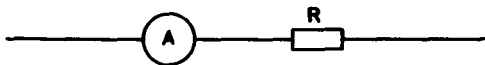
56-§. ТОК КУЧИНИ ВА КУЧЛАНИШНИ ЎЛЧАШ

Ток кучини амперметр билан, кучланишни вольтметр билан ўлчашни ҳар бир ўқувчи билиши керак.

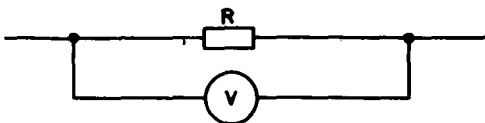
Ток кучини ўлчаш. *Ўтказгичдаги ток кучини ўлчаш учун амперметр бу ўтказгичга кетма-кет қилиб уланади.* (112-расм). Лекин амперметрнинг ўзининг бирор R_a қаршилиги бор, буни назарда тутиш керак. Шунинг учун занжирнинг амперметр уланган қисмининг қаршилиги ортади ва кучланишнинг қиймати ўзгармас бўлганда ток кучи (8.3) Ом қонунига мувофиқ равишда камаяди. Амперметр ўзи ўлчаётган ток кучига имкони борича, камрок таъсир кўрсатиши (яъни камрок ўзгартириши) учун унинг қаршилиги жуда кичик қилиб олинади. Буни эса тутинг ва ҳеч қачон амперметрни розеткага улаб ёритиш тармоғидаги «ток кучини ўлчашга» уринманг. Қисқа туташув юз беради. Амперметрнинг қаршилиги жуда оз бўлгани учун ток кучи жуда ортиб кетиб, амперметрнинг чулғами куйиб қолади.

Кучланишни ўлчаш. Занжирнинг қаршилиги R бўлган қисмидаги кучланишни ўлчаш учун унга параллел қилиб вольтметр уланади. Вольтметрдаги кучланиш занжир қисмидаги кучланиш билан бир хил бўлади (113-расм).

Агар вольтметрнинг қаршилиги R_v бўлса, уни занжирга улагандан сўнг қисмининг қаршилиги R эмас, балки R' бўлади: $R' = \frac{RR_v}{R+R_v} < R$. Шу туфайли занжир қисмида ўлчанаётган кучланиш камаяди. Ўлчанаётган кучланишни вольтметр сезиларли даражада ўзгартирмаслиги учун вольтметрнинг қаршилиги занжирнинг кучланиш ўлчанаётган қисмининг қаршилигига қараганда катта бўлиши керак. Агар вольтметр тармоқ кучланишидан каттарок кучланишга



112-расм



113-расм

мўлжалланган бўлса, уни куйиб кетишидан қўрқмасдан тармоққа улаш мумкин.

Амперметр ток кучи ўлчанадиган ўтказгичга кетма-кет қилиб уланади. Вольтметр кучланиш ўлчанаётган ўтказгичга параллел қилиб уланади.

1. Нима учун амперметрнинг қаршилиги жуда кичик бўлиши керак? 2. Нима учун вольтметрнинг қаршилиги катта бўлиши керак? 3. Вольтметрни бевосита тармоққа улаш мумкинми? 4. Агар амперметр тармоққа уланса нима юз беради?

57-§. ҲАЗГАРМАС ТОКНИНГ ИШИ ВА ҚУВВАТИ

Электр токи ўзи билан энергия элтиши туфайли шу қадар кенг қўлланиладиган бўлди. Бу энергия исталган бошқа тур энергияга айлантирилиши мумкин.

Ўтказгичда зарядли зарралар тартибли ҳаракат қилганда *электр майдон иш бажаради*; бу ишни *токнинг иши* дейиш расм бўлган. Биз ҳозир токнинг иши ва қуввати тўғрисида VIII синф физика курсидаги маълумотларни эсга тушираемиз.

Токнинг иши. Занжирнинг ихтиёрий бир қисмини кўриб чиқамиз. Бу қисм бир жинсли ўтказгич, чўғланма лампочканинг толаси, электр двигателининг чулғами ва бошқалар бўлиши мумкин. Δt вақт ичида ўтказгичнинг кўндаланг қесимидан Δq заряд ўтади деб фарз қиламиз. Унда электр майдон $A = \Delta q U$ иш бажаради.

Ток кучи $I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$ бўлгани учун бу иш қуйидагига тенг:

$$A = IU \Delta t. \quad (8.12)$$

Занжирнинг бир қисмида ток бажарган иши ток кучи, қучланиш ва бажаришига кетган вақт кўпайтмасига тенг.

Энергиянинг сақланиш қонунига асосан, бу иш занжирнинг биз текшираётган қисмининг энергияси ўзгаришига тенг бўлиши керак. Шунинг учун занжирнинг мана шу қисмида Δt вақт ичида ажралиб чиқаётган энергия токнинг ишига тенг ((8.12) га қ.).

Агар занжирнинг бир қисмида механик иш бажарилмаса ва ток химиявий таъсир кўрсатмаса, ўтказгич исийди холос. Исиган ўтказгич атроподаги жисмларга иссиқлик беради.

Ўтказгичнинг исиши қуйидагича юз беради. Электр майдон электронларни тезлаштиради. Электронлар кристалл панжаранинг ионлари билан тўқнашиб, ионларга ўз энергиясини беради. Натижада ионларнинг мувозанат вазиятлари атроподаги хаотик ҳаракатининг энергияси ортади. Бу эса ички энергиянинг ортганини билдиради. Ўтказгичнинг ҳарорати кўтарилади ва у атроподаги жисмларга иссиқлик бера бошлайди. Занжирни туташтиргандан кўп ўтмай бу жараён барқарорлашади ва ҳарорат вақт ўтиши билан ўзгармай қўяди. Электр майдоннинг иши ҳисобига ўтказгичга муттасил равишда энергия келиб туради. Бироқ ўтказгичнинг ички энергияси ўзгармайди, чунки ўтказгич атроподаги жисмларга токнинг ишига тенг миқдорда иссиқлик бериб туради. Шундай қилиб, ток ишининг (8.12) формуласи ўтказгичнинг бошқа жисмларга узатадиган иссиқлик миқдорини ифодалар экан.

Агар занжирнинг бир қисмига оид Ом қонунидан фойдаланиб

туриб, (8.12) формулада кучланишни ток кучи оркали ёки ток кучини кучланиш оркали ифодаласак, ток ишнинг бир-бирига эквивалент бўлган қуйидаги учта ифодасини топамиз:

$$A = IU \Delta t = I^2 R \Delta t = \frac{U^2}{R} \Delta t = Q. \quad (8.13)$$

Ўтказгичлар кетма-кет уланганда $A = I^2 R \Delta t$ формуладан фойдаланиш қулай, чунки бу ҳолда ҳамма ўтказгичларда ток кучи бир хил бўлади. Параллел улашда эса $A = \frac{U^2}{R} \Delta t$ формула қулай, чунки бу ҳолда ҳамма ўтказгичларда кучланиш бир хил.

Жоуль — Ленц қонуни. Токли ўтказгичнинг аτροφдаги муҳитта берадиган иссиқлик миқдорини аниқлайдиган қонунни биринчи бўлиб инглиз олими Жоуль (1818—1889) ва рус олими Ленц (1804—1865) тажрибада аниқлаганлар. Жоуль — Ленц қонуни бундай таърифланган: **токли ўтказгич ажратиб чиқараётган иссиқлик миқдори ток кучининг квадрати, ўтказгичнинг қаршилиги ва ўтказгичдан ток ўтиб турган вақтнинг кўпайтмасига тенг:**

$$Q = I^2 R \Delta t. \quad (8.14)$$

Биз бу қонунни энергиянинг сақланиш қонунига асосланган мулоҳазалар ёрдамида топдик. (8.14) формула занжирнинг ҳар қандай ўтказгичлардан иборат бўлган ихтиёрий қисмидан ажралиб чиқадиган иссиқликни ҳисобга олиб топишга имкон беради.

Токнинг қуввати. Ҳар қандай электр асбоби (лампочка, электр двигател ва бошқалар) вақт бирлиги ичида маълум бир энергия истеъмол қилишига мўлжалланган бўлади. Шунинг учун токнинг иши билан бир қаторда **токнинг қуввати** тушунчаси жуда муҳим аҳамиятга эга. **Токнинг қуввати Δt вақт ичида ток бажарган ишнинг ўша вақтга нисбатига тенг.**

Бу таърифга асосан,

$$P = \frac{A}{\Delta t} = IU. \quad (8.15)$$

Занжирнинг бир қисмига оид Ом қонунидан фойдаланиб қувватнинг бу ифодасини бир-бирига эквивалент бўлган бир нечта кўринишда ёзиш мумкин:

$$P = IU = I^2 R = \frac{U^2}{R}.$$

Асбобларнинг кўпчилигида улар истеъмол қиладиган қувват кўрсатиб қўйилади.

Ўтказгичдан электр токи ўтганда ундан энергия ажралади. Бу энергия токнинг иши билан аниқланади: бу иш кўчириб ўтказилган заряд билан ўтказгич учларидаги кучланиш кўпайтмасига тенг.

- ! 1. Токнинг иши деб нимага айтилади? 2. Токнинг қуввати деб нимага айтилади? 3. Токнинг қуввати қандай бирликларда ифода қилинади?

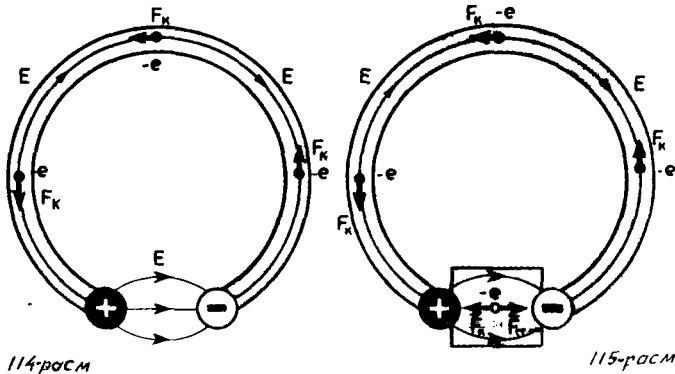
Ҳар қандай ток манбаи электр юритувчи куч (ЭЮК) билан ифодаланади. Масалан, чўнтаки фонарнинг батареясига 1,5 В деб ёзиб қўйилган. Бу нимани билдиради?

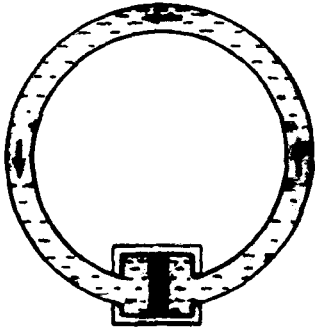
Зарядларининг ишораси карама-қарши бўлган иккита металл шарча бир-бирига ўтказгич билан уланса, бу зарядларнинг электр майдони таъсирида ўтказгичда электр токи пайдо бўлади (114-расм). Бирок бу ток жуда қисқа вақтли бўлади. Зарядлар тез нейтраллашади, шарчалар орасидаги потенциаллар айирмаси тенглашади ва электр майдон йўқолади.

Ташқи кучлар. Ток ўзгармас бўлиши учун шарчалар орасидаги кучланишни ўзгартирмай туриш керак. Бунинг учун зарядларни бир шарчадан иккинчисига кўчира оладиган қурилма (ток манбаи) керак, бу қурилма зарядларни бир шарчадан бошқасига уларга шарчаларнинг электр майдони томонидан таъсир этувчи кучларнинг йўналишига карама-қарши йўналишда кўчиради. Бундай қурилмада зарядларга электр кучларидан ташқари электростатик характерда бўлмаган кучлар таъсир қилиши керак (115-расм). *Зарядли зарраларнинг электр майдонининг (электростатик майдоннинг) ёлғиз ўзи занжирда ўзгармас ток бўлиб туришини таъминлай олмайди.*

Электр зарядли зарраларга таъсир этадиган ҳар қандай кучлар (электростатик кучлар (яъни Кулон кучлари) бундан мустасно) ташқи кучлар деб аталади.

Агар энергиянинг сақланиш қонунига назар ташласак, занжирдан ўзгармас ток ўтиб туриши учун ташқи кучлар зарурлиги тўғрисидаги хулоса янада равшан бўлиб қолади. Электростатик майдон потенциал майдондир. Бу майдоннинг зарядли зарраларни берк электр занжири бўйлаб кўчиришда бажарган иши нолга тенг. Ўтказгичдан ток ўтганда эса энергия ажралади, яъни ўтказгич исийди. Бинобарин, ҳар қандай занжирда унга энергия бериб турадиган бирор энергия манбаи бўлиши керак. Бу манбада Кулон кучларидан ташқари, потенциалли бўлмаган ташқи кучлар ҳам албатта таъсир қилиши керак. Бу





116-расм

Занжирни туташтирганда занжирнинг ҳамма ўтказгичларида электр майдон ҳосил бўлади. *Манбанинг ичида зарядлар Кулон кучларига қарши ташқи кучлар таъсирида (электронлар мусбат зарядли электроддан, манфий зарядли электродга томон) ҳаракатланади, занжирнинг колган қисмида эса зарядларни электр майдон ҳаракатга келтиради (115-расмга қ).*

Электр токи билан суюкликнинг оқиши ўртасидаги ўхшашлик. Буни яхшироқ тушуниш учун ўтказгичдаги электр токи билан суюкликнинг трубаларда оқиши ўртасидаги ўхшашликни кўриб чикамиз.

Горизонтал трубанинг ҳар қандай қисмида суюклик шу қисмнинг учларидаги босимлар фарқи ҳисобига оқади. Суюклик босим камайдиган томонга оқади. Бирок суюкликдаги босим кучи эластиклик кучларининг Кулон кучларига ўхшаган потенциалли туридир. Шунинг учун бу кучларнинг берк йўлдаги иши нолга тенг ва фақат шу кучларнинг ўзи трубада суюкликнинг узок вақт давомида оқиб туришини таъминлай олмайди. Суюклик оқаётганда ишқаланиш кучларининг таъсири туфайли энергия исроф бўлади. Сув оқиб туриши учун насос бўлиши керак. Бу насос поршенининг суюклик зарраларига таъсир қилиши натижасида насоснинг кириш ва чиқиш жойида босимлар фарқи ўзгармай туради. (116-расм.) Мана шу туфайли суюклик трубада оқади. Насос ток манбаига ўхшайди, ҳаракатланувчи поршень томонидан суюкликка таъсир этувчи куч эса ташки кучларга ўхшайди. Насос ичида суюклик босим кичик бўлган қисмлардан босим катта бўлган қисмларга томон оқади. Босимлар фарқи кучланишга ўхшайди.

Ташқи кучларнинг табиати. Ташқи кучларнинг табиати хилма-хил бўлиши мумкин. Электр станцияларидаги генераторларда ташки куч ҳаракатланувчи ўтказгичлардаги электронларга магнит майдон томонидан таъсир этувчи кучдир. Бу тўғрида VIII синф физика курсида қисқача гапирилган эди.

Гальваник элементда, масалан, Вольт элементида химиявий кучлар таъсир қилади. Вольт элементи сульфат кислота эритмаси-

га туширилган рух ва мис электродлардан иборат. Химиявий кучлар рухни кислотада эритади. Эритмага рухнинг мусбат зарядланган ионлари ўтади, рух электроднинг ўзи эса манфий зарядланади. (Мис сульфат кислотада жуда оз эрийди.) Рух электрод билан мис электрод орасида потенциаллар айирмаси ҳосил бўлади, берк электр занжирда ток худди мана шу потенциаллар айирмаси туфайли пайдо бўлади.

Электр юритувчи куч. Ташки кучларнинг таъсири электр юритувчи куч деб аталадиган (кискача ЭЮК) физик катталики билан ифодаланади. Берк контурдаги электр юритувчи куч ташки кучларнинг зарядни контур бўйлаб кўчиришда бажарган ишининг зарядга нисбатидир¹.

$$\mathcal{E} = \frac{A_{\text{таш.}}}{q} \quad (8.16)$$

Электр юритувчи куч вольт билан ифодаланади.

Занжирнинг ҳар қандай қисмидаги электр юритувчи куч тўғрисида гапириш мумкин. Занжир қисмининг ЭЮК ташки кучларнинг бутун контурда эмас, балки контурнинг тайинли бир қисмида бажарган солиштирма ишидир (бирлик зарядни кўчиришда бажарган иши). *Гальваник элементнинг электр юритувчи кучи* ташки кучларнинг бирлик мусбат зарядни элемент ичида бир кутбдан иккинчи кутбга кўчиришда бажарган ишидир. Ташки кучларнинг иши потенциаллар айирмаси орқали ифодаланиши мумкин эмас, чунки ташки кучлар потенциалли кучлар эмас ва уларнинг иши траекториянинг шаклига боғлиқ. Масалан, ташки кучларнинг зарядни манбадан ташқарида манбанинг клеммалари орасида кўчиришда бажарган иши нолга тенг.

Сиз энди ЭЮК нима эканини биласиз. Агар батареячада 1,5 В деб ёзилган бўлса, бу — ташки кучлар (кимёвий кучлар) 1 Кл зарядни бир кутбдан бошқа кутбга кўчиришда 1,5 Ж иш бажаради, деганидир. Агар ёпик занжирда ташки кучлар таъсир қилмаса, яъни ЭЮК бўлмаса, ёпик занжирда ўзгармас ток бўлмайди.

1. Нима учун зарядли зарраларнинг электр майдони (электростатик майдон) занжирда ўзгармас электр токи бўлиб туришини таъминлай олмайди?
2. Ташки кучлар деб қандай кучларга айтилади? 3. Электр юритувчи куч деб нимага айтилади?

59-§. ТУЛИҚ ЗАНЖИР УЧУН ОМ ҚОНУНИ

Электр юритувчи куч маълум қаршиликли ёпик электр занжиридаги ток кучини аниқлайди.

¹ Таърифдан кўриниб турибдики, ЭЮК куч сўзининг одатдаги маъносини эмас, балки бирлик мусбат зарядни кўчириш ишини билдиради. Бу ерда яна нуқулайроқ, лекин кўндан бери одат бўлган атама қўлланилмоқда.

Энергиянинг сақланиш қонуни ёрдамида ток кучининг ЭЮК га ва қаршиликка боғланишини топамиз.

Ток манбаи (гальваник элементи, аккумулятор ёки генератор) ва қаршилиги R бўлган резистордан тузилган энг оддий тўлиқ (яъни берк) занжирни кўриб чиқамиз (117-расм). Ток манбаининг ЭЮК \mathcal{E} ва қаршилиги r . Ток манбаининг қаршилиги кўпинча занжирнинг ташқи қаршилиги R дан фарқли ўларок ички қаршилиқ деб аталади. Генераторда r деганда чулғамларнинг қаршилиги, гальваник элементда r деганда эса электролит эритмаси ва электродларнинг қаршилиги тушунилади.

Тўлиқ занжирга оид Ом қонуни занжирдаги ток кучи, ЭЮК ва занжирнинг тўлиқ қаршилиги $R + r$ ни ўзаро боғлайди. Агар энергиянинг сақланиш қонуни ва (8.14) шаклда ёзилган Жоуль — Ленц қонунидан фойдалансак, бу муносабатни назарий йўл билан топиш мумкин.

Δt вақт ичида ўтказгичнинг кўндаланг кесими орқали Δq заряд ўтади, деб фараз қилайлик. Унда ташқи кучларнинг Δq зарядни кўчиришда бажарган ишини $A_{\text{таш}} = \mathcal{E} \Delta q$ кўринишда ёзиш мумкин. Ток кучининг таърифи (8.1) га асосан, $\Delta q = I \Delta t$. Шунинг учун

$$A_{\text{таш}} = \mathcal{E} I \Delta t. \quad (8.17)$$

Бу иш бажарилганда занжирнинг қаршиликлари r ва R бўлган ички ва ташқи қисмларида маълум иссиқлик миқдори чиқади. Жоуль—Ленц қонунига асосан, бу иссиқлик миқдори қуйидагига тенг:

$$Q = I^2 R \Delta t + I^2 r \Delta t. \quad (8.18)$$

Энергиянинг сақланиш қонунига асосан, $A = Q$ бўлиши керак. (8.17) ни (8.18) га тенглаштирадик,

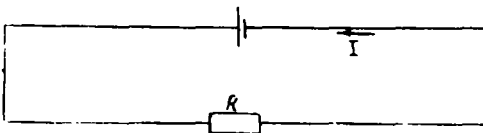
$$\mathcal{E} = IR + Ir \quad (8.19)$$

тенглик ҳосил бўлади.

Ток кучининг занжир қисмининг қаршилигига кўпайтмаси кўпинча *шу қисмдаги кучланиш тушиши* деб аталади. Шундай қилиб, ЭЮК тўлиқ занжирнинг ички ва ташқи қисмларидаги кучланиш тушишларининг йиғиндисига тенг.

Одатда тўлиқ занжирга оид Ом қонуни

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r} \quad (8.20)$$



117-расм

кўринишда ёзилади.

Тўлиқ занжирдаги ток кучи занжир ЭЮК нинг унинг тўлиқ қаршилигига нисбатига тенг.

Ток кучи уч катталikka боғлиқ: ЭЮК \mathcal{E} га, занжирнинг ички ва ташқи қисмларининг қаршиликлари R ва r га. Агар ток манбаининг ички қаршилиги занжирнинг ташқи қисмининг қаршилигидан жуда кичик ($R \gg r$) бўлса, ички қаршилик ток кучини сезиларли камайтирмайди. Бу ҳолда ток манбаининг қисқичларидаги кучланиш ЭЮК га тахминан тенг бўлади: $U = IR \approx \mathcal{E}$.

Бирок киска туташувда ($R \rightarrow 0$) занжирдаги ток кучи манбаининг ички қаршилигига боғлиқ бўлади ва r жуда кичик бўлган ҳолда (масалан, аккумуляторда $r \approx 0,1 - 0,001$ Ом) ЭЮК бир неча вольт чамасида бўлганда ток кучи жуда ортиб кетади. Симлар эриб кетиши, манбаининг ўзи ишдан чиқиши мумкин.

Агар занжирда ЭЮК лари $\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2, \mathcal{E}_3$ хоказо бўлган бир неча элемент кетма-кет уланган бўлса, занжирнинг тўлиқ ЭЮК айрим элементлар ЭЮК ларининг алгебраик йиғиндисига тенг бўлади. Ҳар қандай манба ЭЮК нинг ишорасини аниқлаш учун даставвал контурни (занжирни) айланиб чиқишнинг мусбат йўналишини танлаб олиш лозим. 118-расмда соат стрелкасига тескари йўналишда айланиб чиқиш мусбат йўналиш (ихтиёрий равишда) деб ҳисобланади.

Агар занжирни айланиб чиқишда манбаининг манфий қутбидан мусбат қутбига ўтилса, $\mathcal{E} > 0$. Бунда ташқи кучлар манба ичида мусбат иш бажаради. Агар занжирни айланиб чиқишда манбаининг мусбат қутбидан манфий қутбига ўтилса, ЭЮК манфий бўлади. Ташқи кучлар манба ичида манфий иш бажаради. Масалан, 118-расмда тасвирланган занжирни соат стрелкасига тескари йўналишда айланиб чиқишда:

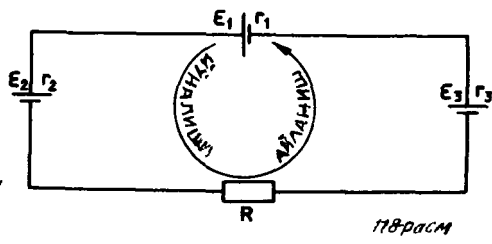
$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3 = |\mathcal{E}_1| - |\mathcal{E}_2| + |\mathcal{E}_3|.$$

Агар $\mathcal{E} > 0$ бўлса, (8.20) формулага асосан, ток кучи $I > 0$, яъни токнинг йўналиши контурни айланиб чиқиш йўналиши билан бир хил бўлади. $\mathcal{E} < 0$ бўлган ҳолда эса, аксинча, токнинг йўналиши контурни айланиб чиқиш йўналишига қарама-қарши бўлади. Занжирнинг тўлиқ қаршилиги R_T ҳамма қаршиликлар йиғиндисига тенг:

$$R_T = R + r_1 + r_2 + r_3.$$

Епиқ занжирдаги ЭЮК занжир ЭЮК нинг тўлиқ қаршиликка нисбатига тенг.

- ?
1. Тўлиқ занжирга оид Ом қонунидаги ЭЮК нинг ишораси нимага боғлиқ?
 2. Тўлиқ занжирга оид Ом қонунини таърифлаб беринг.



МАСАЛА ЕЧИШ НАМУНАЛАРИ

Ом қонунининг татбикига доир масалалар ечишда Ом қонунининг ўзидан ташқари, ўтказгичларни кетма-кет улаганда ток кучи ҳамма ўтказгичларда бир хил бўлишини, занжир учларидаги кучланиш айрим қисмлардаги кучланишлар йиғиндисига тенг эканлигини яхши билиш керак.

Ўтказгичларни параллел улаганда кучланиш ҳамма ўтказгичларда бир хил бўлади, тармоқланмаган занжирдаги ток кучи эса айрим ўтказгичлардаги ток кучларининг йиғиндисига тенг.

(8.6), (8.7), (8.9) ва (8.11) формулалар Ом қонунидан келиб чиқади, аммо уларни ёдда сақлаш ва масала ечганда бевосита татбиқ этиш маъқул.

Токнинг иши ва қувватига доир масалалар ечганда (8.13) ва (8.15) формулаларни қўлланг.

ЭЮК тушунчаси ишлатиладиган масалаларда берк занжирга оид (8.20) Ом қонунини билиш ((8.20) формулага к.) ва бир неча ток манбаи қатнашган занжир учун бу қонунда ЭЮК ларнинг ишорасини тўғри қўя билиш керак.

1. Реостат қўшилган занжирдаги ток кучи $I = 3,2$ А. Реостат клеммалари орасидаги кучланиш $U = 14,4$ В. Реостатнинг ток бор қисмидаги қаршилик R нимага тенг?

Ечилиши. Ом қонунига асосан $I = U/R$, бундан $R = \frac{U}{I} = 4,5$ Ом.

2. ЭЮК $\mathcal{E} = 6,0$ В ва ички қаршилиги $r = 0,1$ Ом бўлган аккумулятор қаршилиги $R = 12,4$ Ом бўлган ташқи занжирга ток беради. Бутун занжирда $t = 10$ мин ичда ажралиб чиққан иссиқлик миқдори Q нимага тенг?

Ечилиши. Тўлиқ занжирга оид Ом қонунига асосан занжирдаги ток $I = \frac{\mathcal{E}}{R+r}$. Занжирнинг ташқи қисмида ажралиб чиққан иссиқлик миқдори $Q_1 = I^2 R t$, ички қисмида ажралиб чиққан иссиқлик миқдори $Q_2 = I^2 r t$. Тўлиқ иссиқлик миқдори

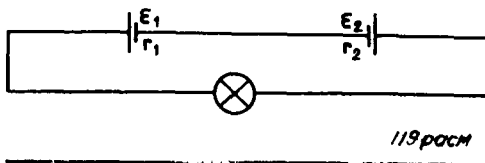
$$Q = Q_1 + Q_2 = I^2 (R + r) t = \frac{\mathcal{E}^2 t}{R + r} \approx 1,7 \text{ кЖ.}$$

3. ЭЮК $\mathcal{E} = 5,0$ В ва ички қаршилиги $r = 0,2$ Ом бўлган гальваник элемент қаршилиги $R = 40,0$ Ом бўлган ўтказгичга уланган. Бу ўтказгичдаги кучланиш U нимага тенг?

Ечилиши. Занжирнинг бир қисмига оид Ом қонунига асосан, $U = IR$. Берк занжирдаги ток кучи $I = \frac{\mathcal{E}}{R+r}$. Шунинг учун

$$U = \frac{\mathcal{E} R}{R + r} \approx 4,97 \text{ В.}$$

10- МАШҚ.



1. Телевизион трубканинг экранига томон учаётган электронлар даста ҳосил қилади. Дастада ток қайси томонга қараб йўналган?

2. Мис ўтказгичнинг қаршилиги 0,2 Ом, массаси 0,2 кг. Унинг кўндаланг кесим юзини ва узунлигини аниқланг. Миснинг зичлиги 8900 кг/м³.

3. Узунлиги 300 м бўлган мис ўтказгичнинг учларига 36 В кучланиш қўйилган. Агар мисда ўтказувчанлик электронларининг концентрацияси $8,5 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$ бўлса, ўтказгичдаги электронлар тартибли ҳаракатининг ўртача тезлигини аниқланг.

4. Узгармас кучланишли тармоққа уланган электроплитка маълум муддат ичида Q иссиқлик миқдори ажратиб чиқарди. Уша муддат ичида бундай плиткалардан икkitаси ўша тармоққа кетма-кет уланганда қанча иссиқлик миқдори ажратиб чиқаради? Агар улар ўша тармоққа параллел уланса-чи?

5. Агар занжир узук бўлса, ЭЮК \mathcal{E} га тенг бўлган гальваник элемент клеммаларидаги кучланиш нимага тенг бўлади?

6. ЭЮК $\mathcal{E} = 12 \text{ В}$ ва ички қаршилиги $r = 0,01 \text{ Ом}$ бўлган аккумулятор қисқа туташиб қолганда ток кучи қанчага тенг бўлади?

7. Чўнтаки фонарь батареяси реостатга улаб қўйилган. Реостатнинг қаршилиги 1,65 Ом бўлганда унда кучланиш 3,30 В бўлган, қаршилик 3,50 Ом бўлганда эса кучланиш 3,50 В бўлган. Батареянинг ЭЮК ини ва ички қаршилигини топинг.

8. ЭЮК лари 4,50 ва 1,50 В, ички қаршиликлари 1,50 ва 0,50 Ом бўлган гальваник элементлар 119-расмда кўрсатилгандек уланган бўлиб, чўнтаки фонарь лампочкасига ток беради. Лампочка толасининг қизиган ҳолатдаги қаршилиги 23 Ом. Лампочка қанча қувват олади?

9. ЭЮК 6 В ва ички қаршилиги 0,1 Ом бўлган манба берк занжирга ток беряпти. Занжирдаги ток кучи ва манба клеммаларидаги кучланишнинг ташқи қисм қаршилигига боғланиш графикларини чизинг.

10. Ҳар бирининг ЭЮК 4,1 В дан ва ички қаршилиги 4 Ом дан бўлган икки элементнинг бир хил исмли қутблари бир-бирига уланиб уланиш жойларидан клеммалар чиқарилган. Бундай батареянинг ўрнини боса олган элементнинг ЭЮК ва ички қаршилиги нимага тенг бўлиши керак?

VIII БОБНИНГ ҚИСҚАЧА ЯКУНЛАРИ¹

1. Зарядли зарраларнинг тартибли ҳаракати электр токи дейилади. Ток кучи ўтказгичнинг кўндаланг кесимидан Δl вақт ичида ўтадиган Δq заряднинг ўша вақтга нисбатига тенг:

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}.$$

¹ Олдинги бобларнинг қисқача яқунларига берилган изоҳларга қarang. Муҳим хулосалар олтига атропоида.

2. Ток кучи ампер ҳисобида ўлчанади. Занжирнинг бир қисмига оид Ом қонунига асосан $I = \frac{U}{R}$, бу ерда U занжир қисмининг учларидаги кучланиш, R — ўша қисмнинг қаршилиги, СИ да қаршилиқ ом ҳисобида ифодаланади:

$$1 \text{ Ом} = \frac{1\text{В}}{1\text{А}}$$

3. Зарядли зарралар ўтказгичда тартибли ҳаракат қилганида электр майдон иш бажаради. Бу иш токнинг иши деб аталади. Ўтказгичнинг бир қисмида Δt вақт ичида ток бажарган иш қуйидагига тенг бўлади:

$$A = IU \Delta t.$$

Ток ўтаётган ўтказгичдан ажралиб чиққан иссиқлик миқдори Q Жоуль — Ленц қонунига асосан қуйидагига тенг: $Q = I^2 R \Delta t$.

4. Токнинг қуввати $P = \frac{A}{\Delta t} = IU$.

5. Занжирда потенциалли бўлмаган маълум бир табиатли ташқи кучлар мавжуд бўлиши керак. Улар занжирга қўшиладиган ток манбаининг ичида таъсир қилади. q зарядни берк контур бўйлаб кўчиришда ташқи кучлар бажарган ишнинг ўша зарядга нисбати электр юритувчи куч деб аталади:

$$\mathcal{E} = \frac{A_{\text{таш}}}{q}.$$

6. Бутун занжирдаги ток кучи занжирнинг ЭЮК нинг тўлиқ қаршилиқка нисбатига тенг:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R+r}.$$

МАГНИТ МАЙДОН

Қўзғалмас электр зарядлар ўзининг атрофида электр майдон ҳосил қилади. Ҳаракатланувчи зарядлар ундан ташқари, магнит майдон ҳам ҳосил қилади. Биз мана шу майдонни ўргана бошлаймиз.

60- §. ТОКЛАРНИНГ ҲАРАКАТЛАНУВЧИ ЗАРЯДЛАРИ. МАГНИТ МАЙДОН

Ҳаракатланувчи зарядлар электр токи ҳосил қилади. Бинобарин, магнит майдон электр токи ҳосил қиладиган майдондир. Магнит майдон электр тоқларини ўзаро таъсир қилдиради.

Қўзғалмас электр зарядлари орасида Кулон қонуни билан аниқланадиган кучлар таъсир қилади. Яқиндан таъсир қилиш назариясига асосан, бу ўзаро таъсир қуйидагича бўлади: ҳар бир заряд электр майдон ҳосил қилади, бир заряднинг майдони иккинчи зарядга таъсир қилади ва аксинча.

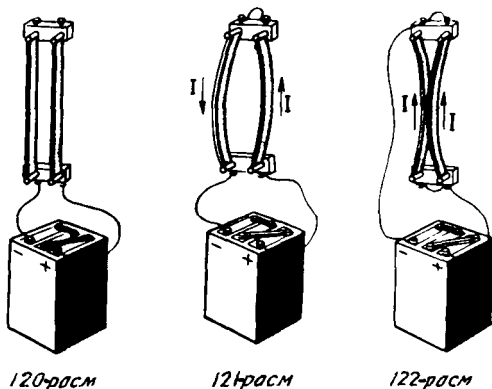
Бирок электр зарядлар орасида бошқача табиатли кучлар бўлиши ҳам мумкин. Уларнинг борлигини қуйидаги тажрибада кўриш мумкин.

Эгилувчан икки ўтказгични вертикал қилиб маҳкамлаб, уларнинг пастки учларини ток манбаининг қутбларига улаймиз (120-расм). Бунда ўтказгичларнинг бир-бирини тортиганини ёки бир-биридан итаришганини сезмаймиз¹. Лекин ўтказгичларнинг иккинчи учларини сим билан улаб, улардан қарама-қарши йўналишда ток ўтадиган қилсак (121-расм), ўтказгичлар бир-биридан итарила бошлайди. *Ўтказгичлардаги тоқларнинг йўналиши бир хил бўлганда улар бир-бирига тортилади* (122-расм).

Тоқли ўтказгичлар орасидаги ўзаро таъсир, яъни ҳаракатланувчи электр зарядлари орасидаги ўзаро таъсир магнит ўзаро таъсир деб аталади. Тоқли ўтказгичларнинг бир-бирига таъсир қиладиган кучлари магнит кучлари деб аталади. Магнит ўзаро таъсир билан сиз VIII синф физика курсида танишган эдингиз. X синфда биз магнит кучларини тўлароқ ўрганамиз.

Магнит майдон. Яқиндан таъсир қилиш назариясига асосан,

¹ Ўтказгичлар ток манбаидан зарядланади, бироқ ўтказгичлар билан манбадаги потенциаллар айирмаси бир неча вольтгина бўлганда ўтказгичлар заряди жуда кичкина бўлади. Шунинг учун Кулон кучлари борлиги ҳеч билинмайди.



120-рasm

121-рasm

122-рasm

ўтказгичлардан биридаги ток иккинчисидagi токка бевосита таъсир қилолмайди.

Қўзғалмас электр зарядлари атрофидаги фазода электр майдон пайдо бўлгани каби, тоқлар атрофидаги фазода магнит майдон деб аталадиган майдон пайдо бўлади.

Ўтказгичлардан биридаги электр тоқи ўз атрофида магнит майдон ҳосил қилади, бу майдон иккинчи ўтказгичдаги токка таъсир қилади. Иккинчи ўтказгичдаги электр тоқи ҳосил қилган магнит майдон эса биринчи ўтказгичдаги токка таъсир қилади.

Магнит майдон материянинг махсус тури бўлиб, электр зарядли ҳаракатланаётган зарралар бир-бирига магнит майдон воситасида таъсир қилади.

Магнит майдоннинг тажрибада топилган асосий хоссалари куйидагилардир:

1. Магнит майдонни электр тоқи (ҳаракатланаётган зарралар) ҳосил қилади.

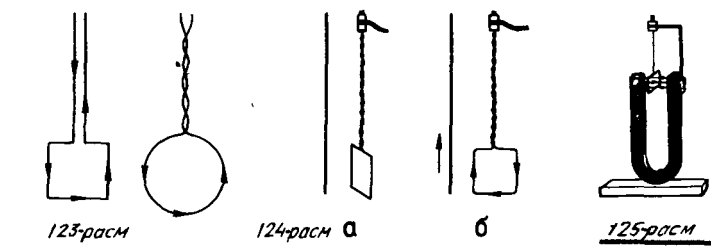
2. Магнит майдон токка (ҳаракатланаётган зарраларга) кўрсатадиган таъсирига қараб пайқалади.

Электр майдон каби, магнит майдон ҳам биздан мустақил равишда, бизнинг у тўғрисидаги билимларимизга боғлиқ бўлмаган ҳолда ҳақиқатан мавжуддир. Худди электр майдон ҳақиқатда мавжудлигининг тажрибавий далили каби магнит майдон мавжудлигининг тажрибавий далили ҳам электромагнит тўлқинларнинг мавжудлиги ҳисобланади (38-§ га қ).

Магнит майдондаги токли берк контур. Магнит майдонни ўрганишда ўлчамлари (магнит майдон сезиларли ўзгарадиган масофаларга нисбатан) кичкина бўлган берк контур олишимиз мумкин. Масалан, шакли ихтиёрий бўлган ясси сим контур олиш мумкин (123-рasm). Ток келадиغان симларни бир-бирига яқин қўйиш ёки бирга эшиб юбориш керак. Шунда магнит майдон томонидан бу ўтказгичларга таъсир қилувчи натижавий куч нолга тенг бўлади.

Магнит майдоннинг токли контурга қандай таъсир кўрсатишини куйидаги тажриба ёрдамида аниқлаш мумкин.

Эгилувчан (юшок) ингичка ўтказгичларни эшиб, уларга бир неча сим ўрамадан иборат бўлган кичиккина ясси рамка осиб қўямиз. Рамканинг ўлчамларидан анча катта масофада вертикал сим тортамиз (124, а-рasm). Симдан ва рамкадан электр тоқи ўтказганда рамка бурилиб, вертикал сим рамка текислигида



жойлашадиган бўлиб қолади (124, б-расм). Симдаги токнинг йўналиши ўзгартирилганда рамка 180° га бурилади.

VIII синф физика курсидан сизга маълумки, *фақат электр токигина эмас, балки доимий магнитлар ҳам магнит майдон ҳосил қилади*. Агар биз токли рамкани магнитнинг қутблари орасига эгилувчан симларда осиб қўйсак, рамканинг текислиги магнитнинг қутбларини туташтирувчи чизикка тик ҳолатга келмагунча рамка бурилаверади (125-расм). Шундай қилиб, *магнит майдон токли рамкага маълум йўналиш олиб жойлашадиган тарзда таъсир кўрсатади*¹.

Ҳаракатланувчи зарядлар (электр токи) магнит майдон ҳосил қилади. Магнит майдон электр токига кўрсатган таъсирига қараб пайқалади.

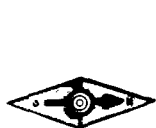
- ! 1. Қандай ўзаро таъсирлар магнит ўзаро таъсирлар деб аталади?
2. Магнит майдоннинг асосий хоссаларини айтиб беринг.

61- §. МАГНИТ ИНДУКЦИЯСИ ВЕКТОРИ. МАГНИТ ИНДУКЦИЯСИ ЧИЗИҚЛАРИ

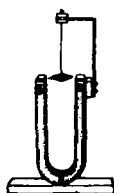
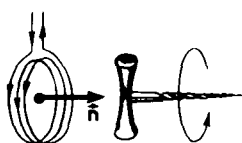
Электр майдон — электр майдоннинг кучланганлиги деб аталадиган вектор катталиқ билан тавсифланади. Магнит майдонни миқдор жиҳатидан ифодаладиган катталиқ киритиш керак. Бу осон иш эмас, чунки магнит ўзаро таъсирлар электр ўзаро таъсирлардан мураккаброкдир. Магнит майдоннинг хараактеристикаси магнит индукцияси вектори деб аталади ва B ҳарфи билан белгиланади. Аввалига биз фақат B векторнинг йўналишини кўриб чиқамиз.

Магнит стрелка. Эластиклик кучи билан таъсир қилмайдиган эгилувчан осмага осилган токли рамка магнит майдонда тайинли бир йўналиш олиб жойлашмагунча бурилаверишини кўрдик. VIII синф физика курсидан маълумки, магнит стрелка ҳам магнит майдонда ўзини шундай тутати. Магнит стрелка — учларида икки қутби: жанубий қутби S ва шимолий қутби N бўлган чўзинчок кичкина доимий магнитдир.

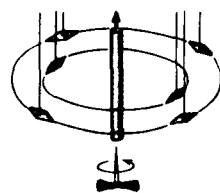
¹ Тажрибадан маълум бўлишича, бир жинсли магнит майдон рамкага фақат маълум бир йўналиш олиб жойлашадиган тарзда таъсир кўрсатади. Бир жинсли бўлмаган магнит майдонда эса рамка бундан ташқари токли ўтказгичга тортилиб ёки ундан итарилиб илгариланма ҳаракат ҳам қилади.



126-расм



127-расм



128-расм

Магнит индукцияси векторининг йўналиши. Магнит майдоннинг магнит стрелкага ёки токли рамкага маълум йўналиш олиб жойлашишига кўрсатадиган таъсирдан магнит индукцияси векторининг йўналишини аниқлашда фойдаланиш мумкин.

Магнит индукцияси векторининг йўналиши деб магнит майдонда эркин турадиган магнит стрелканинг жанубий қутби S дан шимолий қутби N га томон эркин равишда олган йўналиши қабул қилинади. Бу йўналиш токли берк контурга ўтказилган мусбат нормалнинг йўналиши билан бир хил бўлади (126- расм).

Унг винтли парма рамкадаги ток йўналишида бурилганда парма қайси томонга кўчса, *мусбат нормаль* ҳам ўша томонга кўчади (126- расмга қ.)

Магнит майдоннинг ҳар қандай нуктасидаги индукцияси векторининг йўналишини токли рамка ёки магнит стрелкадан фойдаланиб аниқлаш мумкин.

127 ва 128- расмларда магнит стрелка билан ўтказилган тажрибалар кўрсатилган бўлиб, улар токли рамка билан ўтказилган тажрибаларни (124 ва 125- расмларга қ.) такрорлайди.

Токли тўғри ўтказгичнинг магнит майдонда магнит стрелка айланага ўтказилган уринма бўйлаб жойлашади (128- расм). Айлананинг текислиги симга тик бўлиб, маркази симнинг ўқида ётади. Магнит индукцияси векторининг йўналиши *парма қондаси* ёрдамида аниқланади. Парма қондаси куйидагичадир: *агар парманинг илгариланма ҳаракати йўналиши ўтказгичдаги ток йўналиши билан бир хил бўлса, у ҳолда парма дастасининг айланиш йўналиши магнит индукцияси векторининг йўналиши билан бир хил бўлади.*

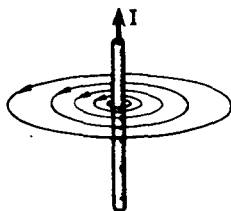
Ер юзида компасга қараб дунё томонларини аниқлаётган ҳар бир киши Ернинг магнит майдони индукцияси векторининг йўналишини аниқлашга доир тажрибани бажараётган бўлади.

Магнит индукцияси чизиқлари. *Магнит индукцияси чизиқлари* деб аталадиган чизиқлар чизиб, магнит майдоннинг кўргазмали манзарасини ҳосил қилиш мумкин. **Магнит индукциясининг чизиқлари деб шундай чизиқларга айтиладики, уларга ўтказилган уринмалар майдоннинг тайинли бир нуктасида B вектор билан бир хил йўналган бўлади** (129-расм). Бу жиҳатдан қараганда магнит индукцияси чизиқлар электростатик майдон кучланганлиги чизиқларига ўхшайди.

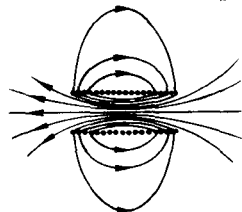
Токли тўғри ўтказгичнинг магнит майдони учун магнит индукцияси чизикларини чизамиз. Илгари ўтказилган тажрибалардан бу ҳолда магнит индукцияси чизиклари токли ўтказгичга перпендикуляр бўлган текисликда жойлашган концентрик айланалар бўлади, деган хулоса келиб чиқади (130-расм). Бу айланаларнинг маркази ўтказгич ўқида ётади. Чизиклардаги



129-расм



130-расм



131-расм

стрелкалар мазкур чизикқа уринма бўлган индукция вектори қайси томонга йўналганини кўрсатади.

Токли ғалтак (соленоид)нинг магнит майдони манзарасини кўриб ўтамиз. Магнит индукцияси чизикларининг магнит стрелкалари ёки токли кичик контурлар воситасида чизилган манзараси 131-расмда кўрсатилган (соленоиднинг кесими тасвирланган). Агар соленоиднинг узунлиги диаметридан анча катта бўлса соленоид ичидаги майдонни *бир жинсли* майдон деса бўлади. Бундай майдоннинг магнит индукцияси чизиклари *параллел* бўлади.

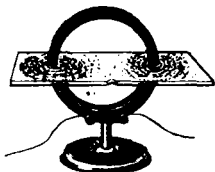
Майда темир кукунларидан фойдаланиб магнит индукцияси чизиклари манзарасини кўзга кўринадиган қилса бўлади. Сиз бу усулни VIII синф физика курсидан биласиз.

Картон варағи устига сочилган ҳар бир темир кукуни магнит майдонда магнитланади ва ўзини кичкина магнит стрелкаси каби тутлади. Стрелкаларнинг кўп бўлиши магнит майдоннинг йўналишини жуда кўп нукталарда аниқлашга ва бинобарин, магнит индукцияси чизикларининг жойлашишини аниқроқ белгилашга имкон беради. Магнит майдоннинг темир кукунлари воситасида олинган баъзи манзаралари 132—135-расмларда кўрсатилган.

Уюрмали майдон. Магнит индукцияси чизикларининг муҳим хусусияти шундан иборатки, уларнинг боши ҳам, охири ҳам бўл-



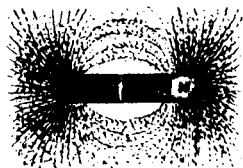
132-расм



133-расм



134-расм



135-расм



Ампер Андре Мари (1775—1836) — электродинамиканинг асосчиларидан бири, буюк француз физиги ва математиги. Ампер физикага «электр токи» тушунчасини киритган ва магнетизмнинг молекуляр тоқлар тўғрисидаги гипотезага асосланган биринчи назариясини яратган. Электр тоқларининг механик ўзаро таъсирини кашф этган ва бу ўзаро таъсир кучига онд миқдорий муносабатларни топган. Уни Максвелл «электрнинг Ньютони» деб атаган. Ампер механика, эҳтимоллар назарияси ва математик анализ соҳасида ҳам ишлаган.

майди. Улар ҳамиша берк бўлади. Электростатик майдонда манзара бошқача эканини эсга олайлик. Электростатик майдоннинг куч чизиқлари мусбат зарядларда бошланиб, манфий зарядларда тугайди.

Куч чизиқлари берк бўлган майдонлар уюрмали майдонлар деб аталади. Магнит майдон — уюрмали майдондир.

Магнит индукцияси чизиқларининг берк бўлиши магнит майдоннинг асосий хоссасидир. Унинг моҳияти шундан иборатки, *магнит майдоннинг манбалари бўлмайди. Табиатда электр зарядларига ўхшаган магнит зарядлари йўқ.*

Биз магнит майдоннинг ҳар бир нуктасини маълум бир йўналиш билан — магнит индукцияси векторининг йўналиши билан боғлашни ўрганиб олдик. Бу йўналишни магнит стрелка ёки тоқли кичик контурга ўтказилган нормаль кўрсатади. Магнит майдоннинг манбалари йўқ эканини, магнит зарядлар мавжуд эмаслигини аниқладик.

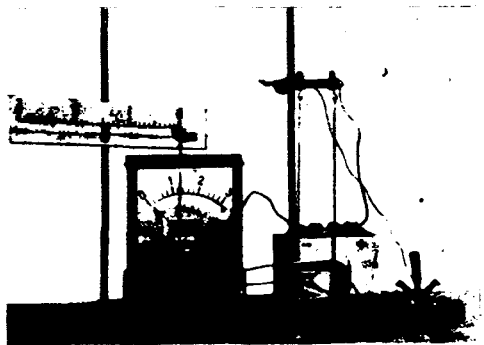
- ! 1. Бир жинсли магнит майдонда тоқли берк контур ва магнит стрелка қандай кўчади? 2. Магнит индукцияси векторининг йўналишини аниқлаш усулларини айтиб бering. 3. Магнит индукциясининг чизиқлари деб нимага айтилади? 4. Уюрмали майдон деб қандай майдонга айтилади? 5. Уюрмали майдон потенциалли майдондан нимаси билан фарқ қилади?

62- §. МАГНИТ ИНДУКЦИЯСИ ВЕКТОРИНИНГ МОДУЛИ. АМПЕР КУЧИ

Биз ҳозирча магнит индукцияси вектори \vec{B} нинг йўналишинигина топа биламиз. B нинг модулини аниқлашни ҳам ўрганиб олиш керак. B нинг модули бош масалани ҳал қилиш учун, яъни тоқли ўтказгичга магнит майдон томонидан таъсир этадиган кучни аниқлайдиган конунни тавсифлаш учун зарур.

Магнит майдон тоқли ўтказгичнинг ҳамма қисмларига таъсир қилади. Ўтказгичнинг ҳар бир кичик қисмига таъсир этувчи кучни билган ҳолда бутун берк ўтказгичга таъсир этувчи кучни ҳисоблаб топиш мумкин. Ўтказгичнинг айрим қисмига (ток элементига)

таъсир этувчи кучни аниқловчи қонунни 1820 йилда А. Ампер топган¹. Алоҳида ток элементи яратиш мумкин бўлмагани учун Ампер берк ўтказгичлар билан тажриба ўтказган. Ўтказгичларнинг шакли ва вазиятини ўзгартириб, Ампер алоҳида ток элементига таъсир этувчи куч ифодасини топишга муваффақ бўлган.



136-расм

Магнит индукцияси векторининг модули. Магнит майдонда токли ўтказгичга таъсир этувчи куч нималарга боғлиқ эканини тажрибада аниқлаймиз. Бу хол бизга магнит индукцияси векторининг модулини таърифлашга, сўнгра эса Ампер кучини топишга имкон беради. Магнит майдоннинг токли ўтказгичга кўрсатадиган таъсирини 136-расмда тасвирланган қурилмада ўрганамиз.

Эркин осиб қўйилган горизонтал ўтказгич тақасимон доимий магнитнинг магнит майдонида турибди. Магнитнинг майдони ўз қутблари орасига тўпланган, шунинг учун амалда магнит кучи ўтказгичнинг узунлиги Δl бўлган қисмига таъсир қилади; бу қисм қутблар орасида жойлашган. Куч ўтказгичга икки стерженча воситасида бириктирилган махсус тарози билан ўлчанади. Бу куч ўтказгичга ва магнит индукцияси чизиқларига тик бўлиб, горизонтал йўналади.

Ток кучини 2 марта орттирсак, ўтказгичга таъсир этувчи куч ҳам 2 марта ортганини кўраимиз. Яна битта магнит қўшиб, ўтказгичнинг магнит майдон таъсир этадиган қисмининг узунлигини 2 марта орттирган бўламиз. Бунда куч ҳам 2 марта ортади. Ниҳоят,

Ампер кучи \vec{B} вектор билан ўтказгич орасидаги бурчакка ҳам боғлиқ. Бунга ишонч ҳосил қилиш учун устида магнитлар турган тагликни ўтказгич билан магнит индукцияси чизиқлари орасидаги бурчак ўзгарадиган қилиб оғдириш керак. *Магнит индукцияси ўтказгичга тик бўлганда куч максимал \vec{F}_m қийматига эришади.*

Шундай қилиб, ток ўтаётган ўтказгичнинг узунлиги Δl бўлган қисмига таъсир этаётган максимал куч ток кучи I билан қисмнинг

¹ Аниғини айтганда Ампер токли ўтказгичнинг кичикроқ икки қисми (икки элементи) орасидаги ўзаро таъсир кучи тўғрисидаги қонунни кашф этган. У олисдан таъсир қилиш назариясининг тарафдори эди ва майдон тушунчасидан фойдаланган эмас. Бироқ аъёнага кўра ва олимнинг хизматларини эътиборга олиб, магнит майдон томонидан токли ўтказгичга таъсир этувчи магнит кучининг ифодаси ҳам Ампер қонуни деб аталади.

узудлиги Δl нинг кўпайтмасига тўғри пропорционалдир:

$$F_m \sim I \Delta l.$$

Тажрибадан тонилган бу фактдан магнит индукцияси векторининг модулини топишда фойдаланиш мумкин. Дарҳақиқат, $F_m \sim I \Delta l$ бўлгани учун $\frac{F_m}{I \Delta l}$ нисбат на ўтказгичдаги ток кучига, на ўтказгич қисмининг узузлигига боғлиқ бўлмайди. Худди мана шунинг учун бу нисбатни магнит майдоннинг ўтказгич қисми турган жойдаги характеристикаси¹ деб қабул қилиш мумкин.

Магнит индукцияси векторининг модули деб, магнит майдон томонидан токли ўтказгичнинг қисмига таъсир этувчи максимал кучнинг ток кучи билан шу қисм узузлигининг кўпайтмасига нисбатига айтамыз:

$$B = \frac{F_m}{I \Delta l}. \quad (9.1)$$

Магнит майдонни магнит индукциясининг вектори \vec{B} тўлиқ тавсифлайди. *Магнит майдоннинг ҳар бир нуқтасида магнит индукцияси векторининг йўналиши ва модули токли ўтказгич қисмига таъсир этувчи кучни ўлчаш йўли билан аниқланиши мумкин.*

Кичик ток элементининг магнит индукциясини аниқлайдиган қонун анча мураккаб, шунинг учун биз уни ўрганмаймиз.

Ампер кучининг модули. Магнит индукциясининг вектори \vec{B} токли ўтказгич кесмасининг (ток элементининг) йўналиши билан α бурчак ҳосил қилсин (137- расм). (Ток элементининг йўналиши деб ўтказгичдан ўтаётган ток йўналиши олинади.) Тажрибанинг кўрсатишича, индукция вектори токли ўтказгич бўйлаб йўналган магнит майдон токка ҳеч қандай таъсир кўрсатмайди. Шунинг учун кучнинг модули фақат \vec{B} векторнинг ўтказгичга перпендикуляр бўлган ташкил этувчисининг модулига, яъни $B_{\perp} = B \sin \alpha$ гагина боғлиқ бўлиб, B векторнинг ўтказгич бўйлаб йўналган ташкил этувчиси \vec{B}_{\parallel} га боғлиқ эмас.

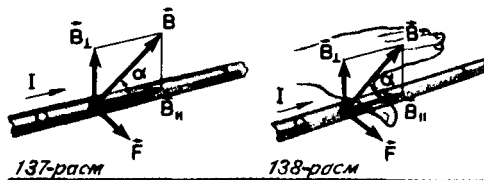
Максимал Ампер кучи (9.1) га асосан

$$F_m = I \Delta l B,$$

бунга $\alpha = \frac{\pi}{2}$ бурчак мос келади. α бурчакнинг қиймати ихтиёрий бўлганда куч индукцияга эмас, балки $B_{\perp} = B \sin \alpha$ га пропорционалдир. Шунинг учун ўзидан I ток ўтказаётган ўтказгичнинг жуда

¹ Худди шунга ўхшаш, электр майдон томонидан зарядга таъсир этувчи кучнинг зарядга нисбати зарядга боғлиқ эмас ва шунинг учун фазонинг мазкур нуқтасидаги электр майдонни тавсифлайди.

кичик Δl кесмасига \vec{B} индукцияси ток элементи билан α бурчак ҳосил қилувчи магнит майдон томонидан таъсир этаётган F кучнинг модули



$$F = B |I| \Delta l \sin \alpha \quad (9.2)$$

кўринишида бўлади.

Бу ифода Ампер қонуни деб аталади.

Ампер кучи магнит индукцияси, ток кучи, ўтказгич қисмининг узунлиги, магнит индукцияси билан ўтказгичнинг қисми орасидаги бурчак синуси кўпайтмасига тенг.

Ампер кучининг йўналиши. Юқорида кўриб ўтилган тажрибада \vec{F} вектор ток элементига ва \vec{B} векторга перпендикулярдир. Бу кучнинг йўналиши чап қўл қондаси билан аниқланади:

агар чап қўлимизни \vec{B} индукция векторининг ўтказгичга перпендикуляр бўлган ташкил этувчиси кафтимизга қирадиган қалиб тутиб, ёйилган тўрт бармоқ ток йўналиши бўйича очилса, 90° га керилган бош бармоғимиз ўтказгич кесмасига таъсир этувчи кучнинг йўналишини кўрсатади (138- расм).

Бу қонда ҳамма ҳолларда тўғри.

Магнит индукциясининг бирлиги. Биз янги катталиқ — магнит индукциясини киритдик. Энди бу катталиқ учун бирлик тайин қилиш керак. *Магнит индукцияси бирлиги қилиб шундай бир жинсли майдоннинг магнит индукциясини олиш керакки, бунда ўтказгичнинг узунлиги 1 м бўлган қисмига ток кучи 1 А бўлганда майдон томонидан $F_m = 1$ Н максимал куч таъсир қилсин.* (9.1) формулага асосан, 1 магнит индукцияси бирл. $= 1 \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}}$.

Магнит индукцияси бирлиги югославиялик электротехник олим Н. Тесла (1856—1943) шарафига **тесла (Тл)** деб аталди.

Магнит майдон томонидан токли ўтказгич қисмига таъсир этаётган кучни ўлчашга асосланиб туриб биз магнит индукцияси векторининг модулини аниқладик. Сўнгра магнит майдондаги токли ўтказгичга таъсир этувчи Ампер кучига оид Ампер қонуни таърифланди.

- ?
1. Магнит индукциясининг модули қандай аниқланади?
 2. Ампер кучи векторининг модули нимага тенг?
 3. Ампер кучи йўналишини аниқлаш қондасини таърифланг.
 4. Магнит индукцияси қандай бирликларда ифода қилинади?

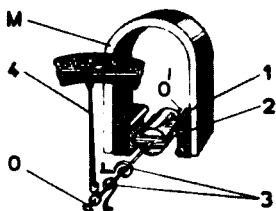
63- §. ЭЛЕКТР ҰЛЧОВ АСБОБЛАРИ

Магнит майдоннинг токли контурга маълум йўналиш олиб жойлашишига кўрсатадиган таъсирдан (61-§ га к.). магнитозлектр системали электр ўлчов асбоблари бўлмиш амперметр ва вольтметрларда фойдаланилади.

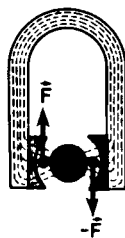
Бундай системали ўлчов асбоби куйидагича тузилган (139- расм).

Ўзига стрелка 4 бириктирилган ва тўғри тўртбурчак шаклида ишланган энгил алюминий рамка 2 га ғалтак ўралган. Рамка иккита 00'ярим ўққа маҳкамланган. Рамкани мувозанат вазиятда иккита юпқа спираль пружина 3 ушлаб туради. Пружиналар томонидан ғалтакка таъсир қиладиган эластиклик кучларининг ғалтакни мувозанат вазиятга қайтарадиган моменти стрелканинг мувозанат вазиятидан оғиш бурчагига пропорционалдир. Ғалтак доимий магнит M нинг қутблари орасига қўйилади; магнитнинг қутбларига махсус шакл берилган. Ғалтакнинг ичида юмшоқ темирдан ишланган цилиндр 1 туради. Бу ҳолда магнит индукциясининг ғалтак ўрамлари жойлашган соҳадаги чизиқлари ғалтак радиуси бўйлаб йўналади (140-расм). Натижада ғалтак ҳар қандай вазиятда турганда унга магнит майдон томонидан таъсир қиладиган кучлар энг катта бўлиб, ток кучи ўзгармаганда бу кучлар доимий қийматга эга бўлади. \vec{F} ва $-\vec{F}$ кучлар ғалтакка магнит майдон томонидан таъсир қиладиган кучлар бўлиб, ғалтакни айлантирадиган моментни ўша кучлар ҳосил қилади. Пружина томонидан таъсир қиладиган эластиклик кучлари рамкага магнит майдон томонидан таъсир қиладиган кучлар билан мувозанатлашмагунча токли рамка бурилаверади. Ғалтакдан ўтаётган ток кучини икки марта орттирсак, стрелка икки марта катта бурчакка бурилганини кўрамиз ва ҳоказо. Бундай бўлишининг сабаби шундаки, ғалтакка магнит майдон томонидан таъсир этадиган кучлар ток кучига тўғри пропорционалдир: $F_m \sim I$. Агар асбоб ток кучи аниқланадиган қилиб даражаланган бўлса, ғалтакнинг бурилиш бурчагига қараб ток кучини аниқлаш мумкин. Бунинг учун стрелканинг қандай бурилиш бурчакларига ток кучининг маълум қийматлари мос келишини аниқлаш керак.

Бундай асбоб кучланишни ҳам ўлчай олади (56-§ га к.). Бунинг учун асбобни шундай даражалаш керакки, стрелканинг бурилиш



139-расм



140-расм

бурчаклари кучланишнинг тайинли қийматларига мос келсин. Бундан ташқари, вольтметрнинг қаршилиги амперметрнинг қаршилигидан кўп марта ортик бўлиши керак.

Ўлчов асбобининг ичига бир назар ташлаб тилга олинган ҳамма қисмларни топинг.

1. Улчов асбобининг стрелкаси маълум бурчакка бурилгандан сўнг қандай кучлар мувозанатлашади? 2. Нима учун асбоб ғалтагининг ўтказгичларига таъсир қилувчи магнит кучлар ғалтакнинг бурилиш бурчагига боғлиқ эмас? 3. Амперметр вольтметрдан нимаси билан фарқ қилади?

64- §. АМПЕР ҚОНУНИНИНГ ТАТБИҚЛАРИ. ГРОМКОГОВОРИТЕЛЬ

Токли ўтказгичнинг ҳар қандай қисмига таъсир этувчи кучнинг йўналиши ва модулини билган ҳолда бутун берк ўтказгичга таъсир этувчи кучни ҳисоблаб чиқариш мумкин. Бунинг учун токли ўтказгичнинг ҳар бир қисмига таъсир этувчи кучлар йиғиндисини топиш керак.

Ампер қонуни токли ўтказгичга таъсир этувчи кучларни ҳисоб қилишда, кўп техник қурилмаларда, жумладан, электр двигателларида ишлатилади. Электр двигателлари тўғрисида VIII синфнинг физика курсида гапирилган эди. Ҳозир биз громкоговорителнинг тузилиши ва ишлашини кўриб ўтамиз.

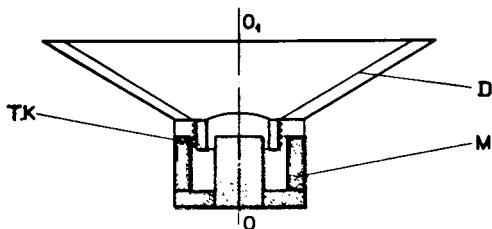
Громкоговоритель товуш частотаси билан ўзгарадиган ўзгарувчан электр токи таъсири остида товуш тўлқинлари ҳосил қилиб туради. Электродинамик громкоговорителда (динамикда) доимий магнит майдоннинг кўзгалувчи ғалтакдаги ўзгарувчан токка таъсиридан фойдаланилади.

Громкоговорителнинг тузилиш схемаси 141-расмда кўрсатилган. Товуш ғалтаги T , K ҳалқасимон магнит M нинг ичкарасида туради. Ғалтакка қоғоз конус — диафрагма D маҳкам бириктирилган. Диафрагма эластик осмаларга маҳкамланган бўлиб, кўзгалувчи ғалтак билан бирга мажбурий тебранишлар ҳосил қилади.

Ғалтакдан частотаси товуш частотасига тенг бўлган ўзгарувчан электр токи ўтади. Бу ток микрофондан ёки радиоприёмник, проигрыватель, магнитофоннинг чиқишидан олинади. Ампер кучи таъсирида ғалтак громкоговорителнинг OO_1 ўқи бўйлаб ток тебранишларига уйғун равишда тебранади (141-расмга қ). Бу тебранишлар диафрагмага берилади ва диафрагма сирти товуш тўлқинлари тарқата бошлайди.

Биринчи даражали громкоговорителлар товушни 40—15000 Гц соҳаларда бузмасдан чиқаради. Лекин бундай қурилмалар жуда мураккабдир. Шунинг учун ҳар бири товушни частоталарнинг кичикроқ интервалида берадиган громкоговорителлар системаси қўлланилади.

Ҳамма громкоговорителларнинг умумий камчилиги ФИКнинг кичиклигидадир. Улар берилаётган бутун энергиянинг 1—3 % ини тарқатади.



141-расм

Радиоприёмник, проигрыватель ва магнитофонда товуш токли галтакнинг доимий магнит майдонда ҳаракат қилиши туфайли пайдо бўлади.

! Громкоговорителнинг схемасида магнит индукцияси векторининг, электр токи ва Ампер кучининг йўналишларини кўрсатинг (141-расм).

65-§. МАГНИТ МАЙДОННИНГ ҲАРАКАТЛАНАЁТГАН ЗАРЯДГА КЎРСАТАДИГАН ТАЪСИРИ. ЛОРЕНЦ КУЧИ

Электр токи — тартибли ҳаракатланаётган зарядли зарралар тўпламидир. Шунинг учун магнит майдоннинг токли ўтказгичга кўрсатадиган таъсири майдоннинг ўтказгич ичида ҳаракатланувчи зарядли зарраларга кўрсатадиган таъсирининг натижасидир. Битта заррага таъсир этувчи кучни топамиз.

Ҳаракатланаётган зарядли заррага магнит майдон томонидан таъсир этадиган куч Лоренц кучи деб аталади. Бу куч модда тузилишининг электрон назарияси асосчиси бўлган улуғ голланд физиги Х. Лоренц (1853—1928) шарафига Лоренц кучи деб аталган. Бу кучни Ампер қонуни ёрдамида топиш мумкин.

Лоренц кучининг модули ўтказгичнинг узунлиги Δl бўлган қисмига таъсир этувчи F куч модулининг мана шу қисмда тартибли ҳаракатланаётган зарралар сони N га нисбатига тенг:

$$F_n = \frac{F}{N}. \quad (9.3)$$

Токли ингичка тўғри ўтказгич кесмасини (ток элементини) кўриб чиқамиз (142- расмга қ.).

Кесманинг узунлиги Δl ва ўтказгичнинг кўндаланг кесим юзи S шунчалик кичик бўлсинки, магнит майдон индукциясининг вектори \vec{B} ни ўтказгичнинг мана шу кесмаси ичида ўзгармайди, деб ҳисоблаш мумкин бўлсин. Ўтказгичдан ўтаётган ток кучи I зарранинг заряди q га, зарядли зарраларнинг концентрацияси n га (ҳажм бирлигидаги зарралар сонига) ва уларнинг тартибли ҳаракатининг тезлиги v га қуйидаги формула (52- § га қ.) орқали боғланган:

$$I = qnvS. \quad (9.4)$$

Биз кўриб чиқаётган ток элементига магнит майдон томонидан таъсир этадиган кучнинг модули қуйидагига тенг:

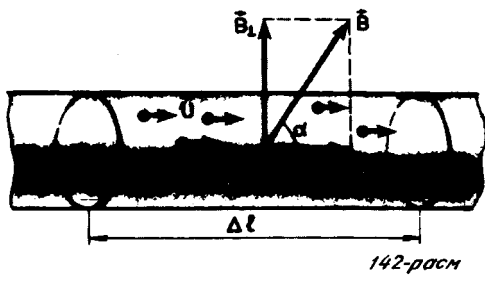
$$F = |I| \Delta l B \sin \alpha.$$

Бунга ток кучининг (9.4) ифодасини қўямиз:

$$F = |q|nvS \Delta l B \sin \alpha = v|q|NB \sin \alpha.$$

бу ерда $N = nS \Delta l$ — текшириляётган ҳажмдаги зарядли зарралар сони. Бинобарин, ҳаракат қилаётган ҳар бир зарядга магнит майдон томонидан қуйидагига тенг бўлган Лоренц кучи таъсир этади:

$$F_{\perp} = \frac{F}{N} = |q| v B \sin \alpha,$$



(9.5)

бу ерда α — тезлик вектори билан магнит индукцияси вектори орасидаги бурчак. Лоренц кучи \vec{F} ва \vec{v} векторларга перпендикуляр бўлиб, унинг йўналиши ҳам Ампер кучининг йўналиши аниқланган чап қўл қондасидан аниқланади.

Агар чап қўлимизни \vec{B} магнит индукциясининг заряд тезлигига перпендикуляр бўлган ташкил этувчиси кафтимишга кирадиган қилиб тутиб, ёйилган тўрт бармоқ мусбат заряд йўналишида (манфий заряд ҳаркатиغا тесқари йўналишда) очилса, 90° га қерилган бош бармоғимиз зарядга таъсир этувчи \vec{F}_{\perp} Лоренц кучининг йўналишини кўрсатади (143- расм).

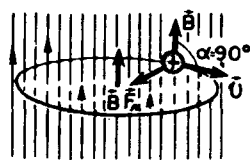
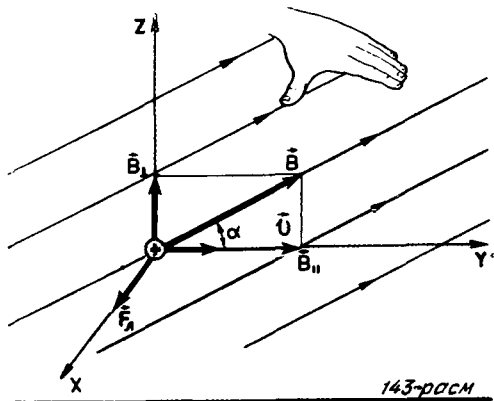
Электр майдон q зарядга $\vec{F}_{эл} = q\vec{E}$ куч билан таъсир қилади. Бинобарин, агар электр майдон ҳам, магнит майдон ҳам мавжуд бўлса, зарядга таъсир этувчи тўлиқ куч \vec{F} қуйидагига тенг¹ бўлади:

$$\vec{F} = \vec{F}_{эл} + \vec{F}_{\perp}.$$

Лоренц кучи зарранинг тезлигига перпендикуляр бўлгани учун у иш бажармайди. Демак, кинетик энергия тўғрисидаги теоремага (IX синф физика дарслигига к.) асосан, Лоренц кучи зарранинг кинетик энергиясини ва, бинобарин, тезлигининг модулини ўзгартирмайди. Лоренц кучи таъсирида зарра тезлигининг фақат йўналиши ўзгаради.

Лоренц кучининг таъсирини кузатиш. Ҳаракатланаётган электронларга Лоренц кучи қандай таъсир кўрсатишини электрон-нур трубкасига электромагнит (ёки доимий магнит) яқинлаштириганда кузатиш мумкин. Электромагнитдан ўтаётган ток кучини ўзгартириб, магнит майдон индукцияси векторининг модули B ортганда электрон-нур кўпроқ оғганини пайқаш мумкин. Электромагнитдан ўтаётган токнинг йўналиши ўзгартирилганда нур тесқари томонга оғади.

¹ Зарядли заррага электромагнит майдон томонидан таъсир этувчи тўлиқ куч кўпинча Лоренц кучи деб аталади. Бу ҳолда (9.5) куч Лоренц кучининг магнит майдонга тегишли қисми деб аталади.



Лоренц кучининг \vec{B} ва \vec{v} векторлар орасидаги α бурчакка боғлиқ эканлигини магнитнинг ўқи билан электрон-нур трубкасининг ўқи орасидаги бурчакни ўзгартирганда электрон-нурнинг силжишига қараб билиш мумкин.

Зарядли зарранинг бир жинсли магнит майдонда қиладиган ҳаракати. q зарядли зарранинг бир жинсли магнит майдонда қиладиган ҳаракатини кўриб чиқамиз. Магнит майдон индукциясининг вектори \vec{B} зарранинг бошланғич тезлиги \vec{v} га перпендикуляр равишда йўналган (144- расм). Лоренц кучи зарра тезлигининг ва майдон индукциясининг модулларига боғлиқ. Магнит майдон тезликнинг модулини ўзгартирмагани учун Лоренц кучининг модули ҳам ўзгармайди. Бу куч тезликка перпендикуляр йўналган ва бинобарин, зарранинг марказга интилма тезланишини белгилайди. Модули ўзгармайдиган тезлик билан ҳаракатланаётган зарранинг марказга интилма тезланиши ўзгармас бўлиши зарранинг r радиусли айланада текис ҳаракат қилишини билдиради. Бу радиусни аниқлаймиз.

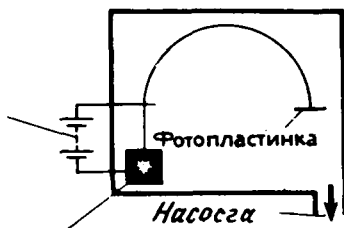
Ньютоннинг иккинчи қонунига асосан (144- расмга қ.)

$$\frac{mv^2}{r} = |q|vB,$$

бундан

$$r = \frac{mv}{|q|}. \quad (9.6)$$

Тезланувчи
кучланиш
ҳосил
қилувчи
батарея



Зарралар майдон

146-расм

Лоренц кучининг қўлланилиши. Ҳаракатланаётган зарядга магнит майдон кўрсатадиган таъсирдан ҳозирги замон техникасида кенг фойдаланилади. Мисол тариқасида телевизион трубкаларда (кинескопларда) экранга томон учиб келаётган электрон-

ларнинг махсус ғалтаклар ҳосил қиладиган магнит майдон ёрда-мида оғдирилишини эслатиб ўтиш кифоя (145- расм).

Зарядли зарраларни уларнинг солиштирма зарядларига, яъни зарра зарядининг массасига нисбатига қараб ажратишга ва олинган натижаларга қараб зарралар массасини аниқ топишга имкон берадиган асбобларда ҳам магнит майдоннинг таъсиридан фойдаланилади. Бундай асбоблар *масс-спектрографлар* деб аталади.

146- расмда энг оддий масс-спектрографнинг принципиал схе-маси кўрсатилган.

Асбобнинг вакуум камераси магнит майдонга жойлаштирилган (индукция вектори \vec{B} расмга тик йўналган). Электр майдонда тезлаштирилган зарядли зарралар (электронлар ёки ионлар) ёй бўйлаб ҳаракат қилиб, фотопластинкага тушади ва унда траектория радиуси r ни жуда аниқ ўлчашга имкон берадиган из қолдиради. Траекториянинг маълум бўлган радиусига қараб ионнинг солиштирма заряди аниқланади. Ионнинг заряди маълум бўлса, унинг массасини аниқлаш осон.

Ҳаракатланаётган зарядли заррага магнит майдон томонидан Лоренц кучи таъсир қилади. Бу куч тезликка тик бўлиб, иш бажармайди.

- ! 1. Лоренц кучининг модули нимага тенг? 2. Агар зарядли зарранинг бошланғич тезлиги магнит индукцияси чизиқларига тик бўлса, бу бир жинсли магнит майдонда у қандай ҳаракатланади? 3. Лоренц кучининг йўналиши қандай қилиб аниқланади? 4. Нима учун Лоренц кучи тезлик-нинг йўналишини ўзгартиради-ю, аммо тезликнинг модулини ўзгар-тирмайди?

66- §. МОДДАНИНГ МАГНИТ ХОССАЛАРИ

Магнит майдонни фақат электр тоқлари эмас, балки доимий магнитлар ҳам ҳосил қилади. Нимага шундай? Амалда магнит-лардан қандай фойдаланилади?

Магнит сингдирувчанлик. Доимий магнитларни саноклигина моддалардан яшаш мумкин, бироқ магнит майдонга қўйилган моддаларнинг ҳаммаси магнитланади, яъни ўзи магнит майдон ҳосил қиладиган бўлиб қолади. Шу туфайли бир жинсли муҳитдаги магнит индукциясининг вектори \vec{B} вакуумда фазонинг ўша нуктасидаги \vec{B}_0 вектордан фарк қилади.

Муҳитнинг магнит хоссаларини ифодаловчи $\frac{\vec{B}}{B_0} = \mu$ нисбат му-ҳитнинг магнит сингдирувчанлиги деб аталади.

Шундай қилиб, бир жинсли муҳитда магнит индукцияси

$$\vec{B} = \mu \vec{B}_0, \quad (9.7)$$

тенглик орқали ифодаланади, бу ерда μ — муҳитнинг магнит сингдирувчанлиги¹.

Ампер гипотезаси. Жисмларнинг магнит хоссаларига эга бўлиши сабабини биринчи бўлиб француз олими Ампер топди. Дастлаб Эрстед тажрибаларида токли ўтказгич яқинидаги магнит стрелкасининг айланишини кузатишдан олган таассуроти асосида Ампер Ер магнетизмини Ер шари ичида оқувчи тоқлар юзага келтиради, деб тахмин қилади. Шу билан жисм ичида айланиб юрвчи тоқлар борлиги туфайли жисм магнит хоссаларга эга бўлади, деган асосий кадам қўйилди. Сўнгра Ампер ҳар қандай жисмнинг магнит хоссалари унинг ичидаги берк электр тоқлари билан аниқланади, деган умумий хулосага келди. Жисмлар магнит хоссаларига тоқлар туфайли эга бўлади деган фараздан магнит ўзаро таъсирлар — тоқларнинг ўзаро таъсиридир деган катъий хулосага келиш Ампернинг илмий заковати нақадар катта эканлигидан далолат беради.

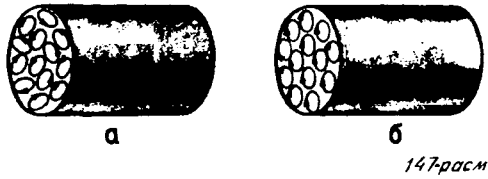
Ампер гипотезасига мувофиқ, молекула ва атомлар ичида элементар электр тоқлари айланиб юради. (Бу тоқлар электронларнинг атомларда ҳаракат қилиши натижасида ҳосил бўлишини биз ҳозир яхши биламиз). Агар бу тоқлар айланиб юрадиган текисликлар молекулаларнинг тартибсиз иссиқлик ҳаракати туфайли бир-бирига нисбатан хаотик жойлашган бўлса (147- расм, а), бу тоқларнинг таъсири бир-бири билан мувозанатлашади ва жисмнинг ҳеч қандай магнит хоссалари бўлмайди. Жисм магнитланган ҳолатда бўлганда ундаги элементар тоқлар шундай жойлашадикки, уларнинг таъсирлари қўшилади. (147, б- расм).

Магнит стрелкаси ва токли рамка (контур) магнит майдонда нима сабадан ўзларини бир хил тутишини Ампер гипотезаси изоҳлаб беради (60-§ га қ.). Магнит стрелкасини бир хил жойлашган токли кичик контурларнинг тўплами деб ҳисоблаш мумкин.

Магнит сингдирувчанлиги катта бўлган ($\mu \gg 1$) жисмларда магнит майдонлар электронларнинг ядролар атрофида айланиши туфайли эмас, балки «хусусий айланиш» туфайли ҳосил бўлади. Бундай моддалар (темир, кобальт, никель, нодир ер элементлари ва бошқа кўп қотишмалар) *ферромагнит* моддалар деб аталади.

¹ (9.7) формула фақат бутун фазони эгаллаган бир жинсли муҳит учун ёки жисм махсус симметрияга эга бўлган ҳоллар учун, масалан, соленонд ичидаги бир жинсли стержень учун тўғридир. Агар жисмнинг шакли ихтиёрий бўлса, уни магнит индукцияси \vec{B} бўлган магнит майдонга киритилганда модда ичидаги индукцияси (9.7) формула билан аниқланмайди. \vec{B} билан \vec{B}_0 орасидаги муносабат анча мураккаб бўлиб, жисмнинг шакли ва \vec{B}_0 га нисбатан эгаллаган вазиятига боғлиқ.

Электрон ҳамиша ўз ўқи атрофида айлангандай¹ бўлади ва зарядга эга бўлгани ҳолда ядро атрофидаги орбитада қилади-ган ҳаракати туфайли пайдо бўладиган майдон билан бирга магнит майдон ҳам ҳосил қилади.



Кюри ҳарорати. Ҳар бир ферромагнит модда учун тайинли бўлган ҳароратдан юқори бўлган ҳароратларда модданинг ферромагнитлик хоссалари йўқолиб кетади. Мазкур ҳарорат бу ҳодисани кашф этган француз олими Кюри шарафига Кюри ҳарорати деб аталади. Агар магнитланган мих қаттиқ қиздирилса, у ўзига темир буюмларни тортмайдиган бўлиб қолади. Темирнинг Кюри ҳарорати 753°C , никелники 365°C , кобальтники 1000°C . Кюри ҳарорати 100°C дан паст бўлган ферромагнит қотишмалар мавжуд.

Ферромагнетикларнинг магнит хоссаларига оид дастлабки мукамал тадқиқотларни машҳур рус физиги А. Г. Столетов (1839—1896) олиб борган.

Ферромагнетиклар ва уларнинг қўлланилиши. Гарчи ферромагнит жисмлар табиатда унча кўп бўлмаса-да, уларнинг амалий аҳамияти энг катта. Ғалтак ичига темир ёки пўлат ўзак қўйиш йўли билан ғалтакдаги ток кучини орттирмасданок ғалтак ҳосил қиладиган магнит майдонни кўп марта кучайтириш мумкин. Трансформатор, генератор, электродвигатель ва бошқа қурилмаларнинг ўзақлари ферромагнит моддалардан ясалади.

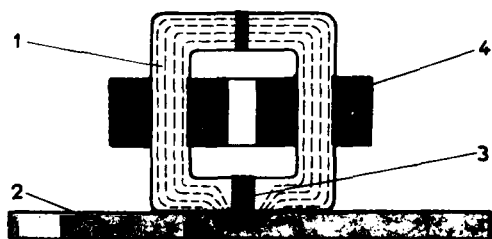
Ферромагнит моддаларнинг магнит сингдирувчанлиги доимий эмас. Магнит сингдирувчанлик магнит индукциясининг векторига боғлиқ.

Ташқи магнит майдон таъсир этмай қўйганда ферромагнит модда магнитланганича қолади, яъни теварак-атрофда магнит майдон ҳосил қилади. Ташқи магнит майдон таъсир этмай қўйганда элементар токларнинг тартибли жойлашиш ҳолати бузилмайди. *Доимий магнитлар ана шу туфайли мавжуд бўлади.*

Доимий магнитлар электр ўлчов асбобларида динамик ва телефонларда, овозни ёзиб оладиган аппаратларда, магнитли компаслар ва ҳоказоларда кенг қўлланилади.

Булар тўғрисида сизга VIII синф физика курсида маълумот берилган.

¹ «Айлангандай бўлади» деганимизнинг маъноси шуки, электрон ўз хоссалари жиҳатидан жуда кичик шарчага ўхшайди. Электроннинг ҳаракати Ньютоннинг классик механикаси қонунларига эмас, балки квант механикаси қонунларига бўйсунди. Электроннинг хусусий айланиш моменти (импульс моменти) спин деб аталади.



148-расм

Ферритлар деб аталадиган ферромагнит материаллар кенг қўлланиладиган бўлди: улар электр токини ўтказмайди. Ферритлар темир оксидлари билан бошқа моддаларнинг оксидлари аралашмасидан таркиб топган. Одамларга маълум бўлган энг

биринчи феррит — магнит темир-тошдир.

Ахборотни магнит ленталари ва магнит плёнкаларига ёзиб олиш. Ферромагнит моддалардан магнит ленталари ва юпка магнит плёнкалари ясалади. Магнит ленталари магнитофонларда товуш ёзиб олишда ва видеоманитофонларда товуш ва тасвир ёзиб олишда кенг қўлланилади.

Магнит лента полихлорвинил ёки бошқа моддалардан ишланган юмшоқ асосдан иборат. Унга магнит лакидан иш қатлами суркалади, бу қатлам темир ёки бошқа ферромагнит моддадан жуда майда ниналар тарзида ишланган зарралардан ва боғловчи моддалардан иборат.

Товуш лентага электромагнит ёрдамида ёзиб олинади. Электромагнитнинг магнит майдони товуш тербанишларига уйғун равишда ўзгариб туради. Лента магнит головкаси яқинидан ўтиб турганда плёнканинг ҳар хил жойлари магнитланади (148-расм). Товушни қайта эшиттиришда тескари жараён юз беради: магнитланган лента магнит головкасида электр сигналлари ҳосил қилади, кучайтирилгандан сўнг улар магнитофоннинг динамикига тушади.

Юпка магнит плёнкалари ферромагнит модда қатламидан иборат бўлиб, қатламнинг қалинлиги 0,03 дан 10 мкм гача бўлади. Улар электрон ҳисоблаш машиналари /ЭХМ/нинг эслаб қолувчи қурilmаларида қўлланилади. Магнит плёнкалари ахборотни ёзиб олиш, сақлаш ва қайтариб беришда ишлатилади. Улар юпка алюминий диск ёки барабанга юритилади. Ахборот одатдаги магнитофондагича ёзиб олинади ва қайтариб берилади. ЭХМ да эса ахборот магнит ленталарига ҳам ёзиб олиниши мумкин. Магнит майдонга қўйилган ҳамма моддалар ўзлари хусусий майдон ҳосил қиладилар. Ферромагнетиклар энг кучли майдонлар ҳосил қилади. Доимий магнитлар шулардан ясалади, чунки магнитловчи майдон таъсир этмай қўйганда ҳам ферромагнетикнинг майдони йўқолмайди. Ферромагнетиклар амалда кенг қўлланилади.

?

1. Муҳитнинг магнит хоссаларини қандай қатталиқ ифодалайди? 2. Қандай жисмлар ферромагнетиклар деб айтилади? 3. Ферромагнит моддалар қандай мақсадларда қўлланилади? 4. ЭХМ да ахборот қандай қилиб ёзиб олинади?

МАСАЛА ЕЧИШ НАМУНАЛАРИ

Токнинг магнит майдонига оид масалаларни ечишда ток ва магнит индукциясининг маълум йўналишларига қараб Ампер кучининг йўналишини чап қўл қондасидан фойдаланиб аниқлай билиш керак. Шунингдек Лоренц кучининг йўналишини ҳам аниқлай билиш керак. Ток ҳосил қилган магнит майдон индукциясининг йўналиши парма қондасидан аниқланади.

Ампер қонунини ва Лоренц кучининг ифодасини ишлатиб ечиладиган масалаларни механика масалалари каби ечиш керак. Бунда механик кучлардан ташқари, Ампер кучини ёки Лоренц кучини эътиборга олиш керак.

1. Магнитнинг қутблари орасига горизонтал осилган тўғри ўтказгичнинг узунлиги $l = 0,2$ м ва массаси $m = 10$ г. Бу ўтказгич оғирлиги ҳисобга олинмайдиган иккита илга осиб қўйилган. Бир жиқли магнит майдоннинг индукцияси сингга тик бўлиб, горизонтал йўналган: $B = 49$ мТл. Ўтказгичдан $I = 2$ А ток ўтганда ўтказгични тутиб турган ишлар вертикалдан қандай α бурчакка оғади?

Ечилиши. Ўтказгичга қуйидаги кучлар таъсир қилади: иккита илгачнинг эластиклик кучи $F_{эл}$ оғирлик кучи mg ва магнит майдон томондан таъсир этувчи куч F (149-расм). Бу кучнинг модули $F = EI l$. Ўтказгич мувозанатда турганда кучлар проекцияларининг йиғиндиси (ишорасини ҳисобга олганда) нолга тенг:

$$mg - F_{эл} \cos \alpha = 0,$$

$$F - F_{эл} \sin \alpha = 0.$$

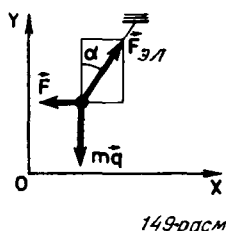
Бундан $\operatorname{tg} \alpha = \frac{F}{mg} = \frac{B I l}{mg} \approx 1$. Бинобарин, $\alpha = 45^\circ$.

2. Бир жиқли ва доимий электр ва магнит майдонлар бир вақтда таъсир этиб турган фазода тўғри чизиқли траектория бўйлаб протон ҳаракат қиляпти. Электр майдоннинг кучланганлиги \vec{E} эканлиги маълум. Магнит майдоннинг индукцияси \vec{B} нимага тенг?

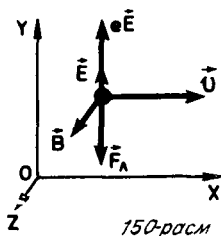
Ечилиши. Протон икки ҳолда тўғри чизиқ бўйлаб ҳаракат қилиши мумкин:

1) \vec{E} вектор протоннинг траекторияси бўйлаб йўналган. U ҳолда \vec{B} вектор ҳам траектория бўйлаб йўналиши керак, лекин модули ихтиёрий бўлиши мумкин, чунки магнит майдон заррага таъсир қилмайди.

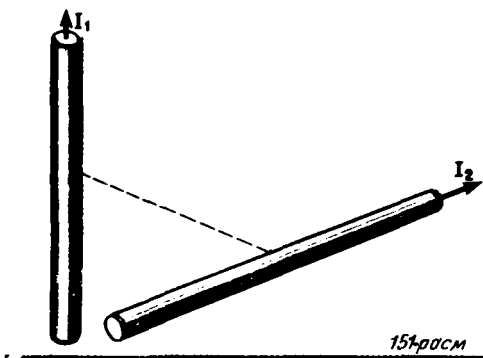
2) \vec{E} , \vec{B} ва \vec{v} векторлар бир-бирига перпендикуляр бўлиб, электр майдон томондан протонга таъсир этувчи куч протонга магнит майдон томондан таъсир этувчи Лоренц кучига модули жиқатидан тенг ва қарама-



149-расм



150-расм



қарши йўналади (150-расм).

$e\vec{E} + \vec{F}_a = 0$ бўлгани учун

$eE - evB = 0$ ва

$B = \frac{E}{v}$ бўлади.

11- МАШҚ

1. Бир томонга йўналган параллел тоқлар бир-бирини тортишини, қарама-қарши томонларга йўналган параллел тоқлар эса бир-биридан итарилшини парма қондаси ва чап қўл қондасидан фойдаланиб кўрсатинг.

2. Тўғри бурчак ҳосил қилиб айкашган иккита тўғри ўтказгичдан I_1 ва I_2 ток ўтказилмоқда (151-расм). Ўтказгичларнинг бир-бирига нисбатан тугган вазиятлари қандай ўзгаради?

3. Узунлиги $l=0,15$ м бўлган ва ўзидан $I=8$ А ток ўтказаяётган ўтказгич бир жинсли магнит майдоннинг индукция векторига перпендикуляр жойлашган. Индукция векторининг модули $B=0,4$ Тл. Ўтказгични Ампер кучи йўналишида $0,025$ м масофага кўчиришда бажарилган ишни топинг.

4. Кинескоп (145-расмга қ.) бўғзидаги магнит майдон индукцияси векторининг йўналишини аниқланг.

IX БОБНИНГ ҚИСҚАЧА ЯҚУНЛАРИ¹

1. Электр тоқлари бир-бири билан магнит майдон воситасида таъсир қилишади, бу таъсир магнит ўзаро таъсир деб аталади. Магнит майдонни тавсифлайдиган асосий катталиқ магнит индукцияси вектори \vec{B} ҳисобланади.

2. Магнит индукцияси векторининг йўналиши деб магнит майдонда эркин йўналиш ола оладиган тоқли рамкага ўтказилган нормалнинг йўналиши қабул қилинади. Бу йўналиш магнит майдонда турган магнит стрелкасининг йўналиши билан мос тушади.

3. Магнит индукцияси векторининг модули ўтказгичнинг қисмига магнит майдон томонидан таъсир этадиган максимал кучнинг тоқ кучи билан бу қисм узунлиги кўпайтмасига нисбатига тенг.

4. Магнит индукцияси чизиқлари тоқли ўтказгичларни ўраб олади ва ҳамиша берк бўлади. Бундай майдонлар уюрмали майдонлар деб аталади.

5. Ампер қонунига асосан, тоқли ўтказгичнинг узунлиги

¹ Олдинги бобнинг қисқача яқунларига берилган изоҳга қаранг. Муҳим хулосалар еттигадан ортиқ.

Δl бўлган қисмига магнит майдон томонидан модули қуйидагича бўлган куч таъсир қилади:

$$F = B |I| \Delta l \sin \alpha,$$

бу ерда α — ўтказгич кесмаси билан \vec{B} вектор орасидаги бурчак. Бу кучнинг йўналиши чап қўл қондаси билан аниқланади.

6. Ҳаракатланаётган зарядли заррага Лоренц кучи таъсир қилади, унинг модули қуйидагига тенг:

$$F_{\text{л}} = |q_0| v B \sin \alpha,$$

бу ерда α — зарранинг тезлиги билан магнит индукцияси вектори орасидаги бурчак. Лоренц кучи зарранинг тезлигига перпендикуляр йўналади ва шунинг учун иш бажармайди.

7. Магнит майдонда ҳамма жисмлар магнитланади, яъни ўзлари магнит майдон ҳосил қилади. Бир жинсли муҳитдаги магнит индукцияси вектори модулининг вакуумдаги магнит индукциясига нисбати магнит сингдирувчанлик деб аталади ва модданинг магнит хоссаларини ифодалайди.

8. Қўп моддаларнинг магнит хоссалари кучли эмас. Қаторига темир кирадиган ферромагнит жисмларнинггина магнит сингдирувчанлиги жуда катта ($\mu \gg 1$) бўлиб, магнит индукциясига боғлиқ. Гарчи ферромагнит моддалар қўп бўлмаса-да улар катта амалий аҳамиятга эга, чунки улар магнит майдоннинг индукциясини энергия сарфламасдан бир неча юз марта орттиришга имкон беради.

ТУРЛИ МУҲИТЛАРДА ЭЛЕКТР ТОКИ

Бу бобда Сиз турли муҳитлардан электр токининг ўтиши билан боғлиқ бўлган жараёнларни ўрганасиз.

67-§. ТУРЛИ МОДДАЛАРНИНГ ЭЛЕКТР ЎТКАЗУВЧАНЛИГИ

Электр токи каттиқ суюқлик ва газ ҳолатдаги қисмлардан ўтади. Бу ўтказгичлар бир-биридан нимаси билан фарқ қилади?

Биз электр токининг металл ўтказгичлардан ўтишини ўргандик, бу ўтказгичларнинг тажрибадан топилган вольт-ампер характеристикаси, яъни Ом қонуни билан танишиб чикдик. Электр энергияни ток манбаидан истеъмолчиларга узатишда металл ўтказгичлар ниҳоятда кенг қўлланилади. Ундан ташқари, бу ўтказгичлар электр двигателлари ва генераторларида, электр иситиш асбобларида ва ҳоказоларда ишлатилади.

Металлар билан бир қаторда *электродитларнинг сувдаги эритмаси ёки аралашмалари ва ионлашган газдан иборат плазма ҳам яхши ўтказгич, яъни зарядли эркин зарралари кўп бўлган модда ҳисобланади.* Бу ўтказгичлар ҳам техникада кенг қўлланилади. Вакуумли электрон асбобларда электронлар оқими электр токини ҳосил қилади.

Ўтказгичлар ва зарядли эркин зарралари кўп бўлмаган моддалардан, яъни диэлектриклардан ташқари, ўтказувчанлиги ўтказгичлар билан диэлектриклар орасида бўлган моддалар ҳам бор. Бу моддаларни ўтказгич деб бўлмайди, чунки улар электрни яхши ўтказмайди, лекин диэлектрик деб ҳам бўлмайди, чунки электрни дурустгина ўтказилади. Шунинг учун улар я р и м ў т к а з г и ч л а р деб аталган.

Яқин кунларгача ҳам ярим ўтказгичлар сезиларли амалий аҳамиятга эга бўлган эмас. Электротехника ва радиотехникада фақат турли хил ўтказгич ва диэлектриклар ишлатилиб келган. Яримўтказгичларнинг электр ўтказувчанлигини осон бошқариш мумкинлигини аввал назарий равишда, сўнгра экспериментда кашф этилиб ўрганилгандан сўнг аҳвол бутунлай ўзгарди, ҳатто радиотехникада революция бўлди, деса бўлади.

Албатта, электр энергияни симлар орқали узатишда аввалгича ўтказгичлар ишлатилаверди.

Яримўтказгичлар эса радиоприёмникларда, ҳисоблаш машиналарида ва ҳоказоларда токни ўзгартирувчи восита сифатида қўлланилади.

- ! 1. Электр токини яхши ўтказадиган ўтказгичларни санаб чиқинг.
2. Утказгичлар яримўтказгичлардан нимаси билан фарқ қилади?

68-§. МЕТАЛЛАРНИНГ ЭЛЕКТРОН УТКАЗУВЧАНЛИГИ

Гапни металл ўтказгичлардан бошлаймиз. Буларнинг вольт-ампер характеристикасини биз биламиз, бироқ бу характеристикани молекуляр-кинетик назария нуктаи назаридан талқин этиши тўғрисида ҳали ҳеч нарса айтилмади.

Металларда эркин заряд элтувчи зарралар электронлар бўлади. Электронларнинг концентрацияси жуда катта бўлиб, 10^{28} $1/\text{м}^3$ тартибдаги сондир. Бу электронлар хаотик иссиқлик ҳаракати қилади. Электр майдон таъсирида электронлар 10^4 м/с тартибдаги ўртача тезлик (қ. 52-§) билан тартибли равишда кўчади.

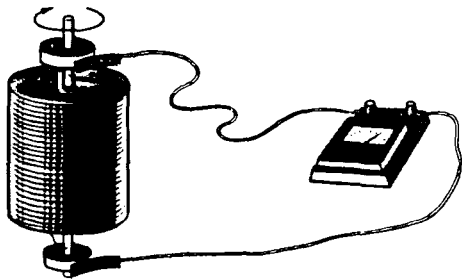
Металларда эркин электронлар борлигининг экспериментал исботи. Металларнинг электр ўтказувчанлиги эркин электронларнинг ҳаракати туфайли ҳосил бўлишини Л. И. Мандельштам ва Н. Д. Папалекси 1913 йилда, Стюарт ва Толмен 1916 йилда ўтказган тажрибаларда исбот этдилар. Бу тажрибалар схемаси куйидагича.

Ғалтакка сим ўралиб, симнинг учлари бир-бирдан изоляция қилинган иккита металл дискка кавшарлаб уланади (152-расм) Металл дискларнинг четига сирпанувчи контактлар воситасида гальванометр уланади.

Ғалтак тез айлантрилади, сўнгра бирдан тўхтатилади. Ғалтак бирдан тўхтатилгандан кейин зарядли эркин зарралар бирор вақт давомида инерцияси билан ўтказгичга нисбатан ҳаракат қилади ва демак, ғалтакда электр токи пайдо бўлади. Ток жуда қисқа вақт давом этади, чунки ўтказгичнинг қаршилиги туфайли зарядли зарралар тез секинлашади ва зарраларнинг ток ҳосил қилаётган тартибли ҳаракати тўхтайтиди.

Бу токнинг йўналиши унинг манфий зарядли зарралар ҳаракати туфайли юзага келишини кўрсатади. Бунда кўчириладиган заряд ток ҳосил қилувчи зарралар зарядининг улар массасига нисбатига, яъни $|q|/m$ нисбатга пропорционал бўлади. Шунинг учун занжирда ток мавжуд бўлган бутун вақт ичида гальванометрдан ўтган зарядни ўлчаб, $|q|/m$ нисбат аниқланган. Бу нисбат $1,8 \cdot 10^{11}$ Кл/кг га тенг бўлиб чиқди. Бу миқдор электрон зарядининг унинг массасига нисбатининг илгарн бошқа тажрибаларда топилган e/m қиймати билан бир хилдир.

Электронларнинг металлда ҳаракатланиши. Электр майдон томонидан таъсир



152-расм



Мандельштам Леонид Исаакович (1879—1944) — йирик физиклардан бири, академик. Л. И. Мандельштам тебранишлар назариясда радиофизика ва оптиканинг ривожланишига улкан ҳисса қўшган. У. Г. С. Ландсберг билан ҳамкорликда кристалларнинг ёруғлиқнинг частотасини ўзгартириб сочишини (ёруғлиқнинг комбинацион сочилиши деб аталган ҳодисани) кашф этди. Л. И. Мандельштам физика соҳасида бутун бир илмий оқим яратди. Академиклардан А. А. Андронов, М. А. Леонтович, собиқ СССР ФАнинг мухбир аъзоси С. М. Ритов, профессор С. П. Стрелков ва бошқа кўп олимлар Л. И. Мандельштамнинг шогирдларидир.

этаётган ўзгармас куч таъсирида электронлар тартибли ҳаракатга келиб, маълум тезликка эга бўлади. Бундан кейин бу тезлик вақт ўтиши билан ортмайди, чунки кристалл панжаранинг ионлари электронларга бирор секинлатувчи куч билан таъсир қилади. Бу куч сувга чўкиб бораётган тошга таъсир этувчи қаршилиқ кучига ўхшайди. Натижада электронларнинг тартибли ҳаракатининг ўртача тезлиги ўтказгичдаги электр майдоннинг кучланганлиги E га пропорционал ($v \sim E$) ва, бинобарин, ўтказгичнинг учларидаги потенциаллар фарқига пропорционал бўлади, чунки $E = U/l$, бу ерда l — ўтказгичнинг узунлиги.

Маълумки, ўтказгичдаги ток кучи зарраларнинг тартибли ҳаракати тезлигига пропорционал (к. (8.2) формула). Шунинг учун ток кучи ўтказгич учларидаги потенциаллар фарқига пропорционал, яъни $I \sim U$ дея оламиз. *Ом қонунини* металллар ўтказувчанлигининг электрон назарияси асосида *сифат томонидан изоҳлаш* ана шундан иборат.

Электронларнинг металлда қиладиган ҳаракатининг кониқарли микдорий назариясини классик механика қонунларига асослаиб яратиш мумкин эмас. Гап шундаки, электронларнинг металлда қиладиган ҳаракатининг шароитлари шундайки, электронлар ҳаракатини тавсифлашга Ньютоннинг классик механикаси яроқсиздир. Бу нарса куйидаги мисолдан яққол кўринади.

Агар уй ҳароратида электронларнинг металлда қиладиган хаотик иссиқлик ҳаракатининг ўртача кинетик энергияси тажрибада аниқланиб, бу энергияга мос келадиган ҳарорат $\frac{m \bar{v}^2}{2} = \frac{3}{2} k T$

формуладан аниқланса, у ҳолда ҳарорат $10^5 - 10^6 \text{K}$ тартибида бўлади. Бундай ҳарорат юлдузлар бағрида бўлади. Электронларнинг металлда қиладиган ҳаракати квант механика қонунларига бўйсунди.

Металларда эркин заряд элтувчилар — электронлар бўлиши тажрибада исбот этилган. Электр майдоннинг таъсири остида электронлар кристалл панжара томонидан секинлаштириш туфайли доимий ўртача тезлик билан ҳаракат қилади. Тартибли ҳаракатнинг тезлиги ўтказгич ичидаги майдон кучланганлигига тўғри пропорционалдир.

1. 152-расмда тасвирланган тажрибада тилга олинган ғалтак соат стрелкаси йўналишида айлантирилиб, кейин бирдан тўхтатилган. Ғалтакни тўхтатиш пайтида пайдо бўлган электр токининг йўналишини аниқланг.
2. Металл ўтказгичда электронлар тартибли ҳаракатининг тезлиги ўтказгичнинг учларидаги кучланишга қандай боғлиқ?

69-§. ЎТКАЗГИЧ ҚАРШИЛИГИНИНГ ҲАРОРАТГА БОҒЛИҚЛИГИ

Турли моддаларнинг солиштирма қаршилиги турлича бўлади (к. 54-§). Қаршилик ўтказгичнинг ҳолатига боғлиқми; унинг ҳароратига боғлиқми? Жавобни тажрибадан оламиз.

Агар пўлат спираль оркали аккумулятордан ток ўтказиб, кейин уни алангага тутилса, амперметр ток кучининг камайганини кўрсатади. Демак, ҳарорат ўзгарганда ўтказгичнинг қаршилиги ўзгарар экан.

Агар 0°C ўтказгичнинг қаршилиги R_0 , t ҳароратда эса қаршилиги R бўлса, тажрибанинг кўрсатишича, қаршилиқнинг нисбий ўзгариши ҳароратнинг t ўзгаришига тўғри пропорционал:

$$\frac{R - R_0}{R_0} = \alpha t. \quad (10.1)$$

α пропорционаллик коэффициентни қаршилиқнинг ҳарорат коэффициентини деб аталади. Бу коэффициент модда қаршилиқининг ҳароратга боғлиқлигини билдиради. Қаршилиқнинг ҳарорат коэффициентини қаршилиқнинг ўтказгич 1 K иситилгандаги нисбий ўзгаришига тенг. Ҳамма металл ўтказгичларда $\alpha > 0$ бўлиб, ҳарорат ўзгарганда арзимаган даражада ўзгаради. Агар ҳароратнинг ўзгариш оралиғи унчалик катта бўлмаса, бу коэффициентни унинг мана шу оралиғидаги ўртача қийматига тенг бўлган доимий миқдор деб олиш мумкин. Соф металлларда

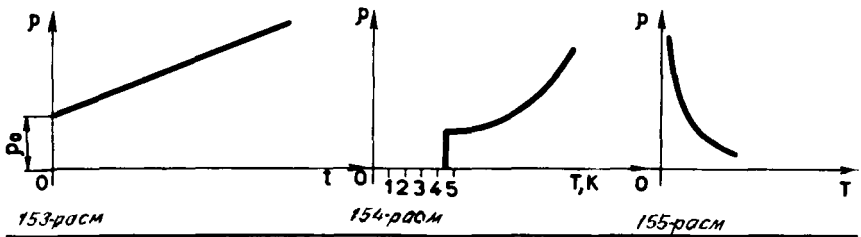
$$\alpha \approx \frac{1}{273} \text{ K}^{-1}.$$

Ҳарорат кўтарилганда электролитлар эритмаларининг қаршилиги ортмайди, балки камаяди. Уларда $\alpha < 0$. Масалан, ош тузининг 10% ли эритмасида $\alpha = -0,02\text{K}^{-1}$.

Иситилганда ўтказгичнинг геометрик ўлчамлари оз ўзгаради. Ўтказгичнинг қаршилиги асосан солиштирма қаршилиқнинг ўзгариши ҳисобига ўзгаради. Агар (10.1) формулага $R = \rho \frac{l}{S}$ ва $R_0 = \rho_0 \frac{l}{S}$ қийматларни қўйсақ, солиштирма қаршилиқнинг ҳароратга қандай боғлиқлигини топиш мумкин. Ҳисоблашлар қуйидаги натижани беради:

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha t). \quad (10.2)$$

Ҳарорат ўзгарганда α коэффициент жуда оз ўзгаргани учун солиштирма қаршилиқ ҳароратга чизиқли боғлиқ (153- расм), деб ҳисоблаш мумкин. Гарчи α коэффициент анчагина кичик бўлса-да, иситкич асбоб-



ларни ҳисоб қилишда қаршиликнинг ҳароратга боғлиқлигини эътиборга олиш жуда зарур. Масалан, чўғланма лампочканинг вольфрам толасидан ток ўтганда унинг қаршилиги 10 баравардан зиёд ортади.

Баъзи қотишмаларда, масалан, мис билан никель қотишмасидан иборат константанда қаршиликнинг ҳарорати коэффициентини жуда кичик: $\alpha \approx 10^{-5} \text{ K}^{-1}$. Константанинг солиштирма қаршилиги катта: $\rho \approx 10^{-6} \text{ Ом.м}$. Бунда қотишмалар эталон қаршиликлар ва ўлчов асбобларига қўйиладиган қўшимча қаршиликларни тайёрлашда, яъни ҳарорат ўзгариб турганда қаршилик сезиларли даражада ўзгармайдиган бўлиши талаб этиладиган ҳолларда ишлатилади.

Металлар қаршилигининг ҳароратга боғлиқлигидан қаршилик-ли термометрларда фойдаланилади. Одатда, бундай термометрнинг асосий ишчи қисми сифатида қаршилигининг ҳароратга қандай боғлиқлиги яхши маълум бўлган қаттиқ металл сим олинади. Ҳарорат ўзгариши платина сим қаршилигининг ўзгаришига қараб баҳоланади. Сим қаршилигининг ўзгаришларини эса ўлчаб топиш мумкин. Бундай термометрлар одатдаги суюқликли термометрлар билан ўлчаб бўлмайдиган жуда паст ва жуда юқори ҳароратларни ўлчашга имкон беради.

Металларнинг солиштирма қаршилиги ҳароратга чизикли боғлиқ. Электролитлар эритмасининг солиштирма қаршилиги ҳарорат кўтарилиши билан камаяди.

1. Электр лампочка қачон кўп қувват истеъмол қилади: тармоққа уланган заҳотими ёки бир неча минут ўтгандан кейинми? 2. Агар электр плитка спиралининг қаршилиги ҳароратга қараб ўзгармаса, унинг узунлиги номинал қувватда узунроқ бўладими ёки қисқароқ бўладими?

70-§. УТА УТКАЗУВЧАНЛИК

Ўтказгичларнинг қаршилиги ҳароратга боғлиқ. Ҳарорат пасайиши билан металларнинг қаршилиги камаяди. Ҳарорат абсолют нолга интилганда нима бўлади?

1911 йилда голландия физиги Камерлинг-Оннес ўта ўтказувчанлик деб аталган ажойиб ҳодисани кашф этди. У симобни суюқ гелийда совитганда симобнинг қаршилиги бошда аста-секин ўзгаришини, сўнгра ҳарорат 4,1 К га етганда сакраб бирданига

нолга тушиб қолишини аниқлади (154-расм). Бу ҳодиса ўта ўтказувчанлик деб аталди. Кейинчалик кўпгина бошқа ўта ўтказгичлар кашф этилди.

Ўта ўтказувчанлик ҳодисаси 25 К дан юқори бўлмаган жуда паст ҳароратларда юз беради. Форзацдаги жадвалда баъзи моддаларнинг ўта ўтказувчанлик ҳолатига ўтиш ҳароратлари кўрсатилган.

Агар ўта ўтказувчан ҳолатда бўлган ҳалқа шаклидаги ўтказгичда ток ҳосил қилиб, кейин манба олиб қўйилса, истаганча узоқ вақт давомида бу ток кучи ўзгармайди. Ўта ўтказувчан бўлмаган одатдаги ўтказгичда бу ҳолда ток тўхтаб қолади.

Ўта ўтказгичлар амалда кенг қўлланилади. Масалан, чулғами ўта ўтказувчан бўлган қувватли электромагнитлар қуриляпти, булар узоқ муддат давомида энергия сарфламасдан магнит майдонни ҳосил қила олади. Чунки *ўта ўтказувчан чулғамда иссиқлик ажралиб чиқмайди*.

Бирок ўта ўтказувчан магнит ёрдамида жуда кучли магнит майдонни ҳосил қилиб бўлмайди. *Жуда кучли магнит майдон ўта ўтказувчанлик ҳолатини бузади*. Бундай майдонни ўта ўтказгичнинг ўзидаги ток ҳосил қила олади. Шу сабабли ўта ўтказувчан ҳолатдаги ҳар бир ўтказгич учун ток кучининг киритик қиймати мавжуд: ўта ўтказувчанлик ҳолатини бузмасдан ток кучини бу критик қийматдан орттириб бўлмайди.

Ўта ўтказувчан магнитлар элементар зарраларни тезлаштирувчи қурилмаларда, магнитогиродинамик генераторларда (МГД-генераторларда) ва ҳоказоларда ишлатилади; МГД-генераторлар магнит майдонда ҳаракатланадиган кизиган ва ионлашган газ оқимининг механик энергиясини электр энергияга айлантиради.

Уй ҳароратига яқин ҳароратда ўта ўтказувчан ҳолатда бўладиган материаллар яратилганда эди, *энергияни симлар орқали исрофсиз узатишдек жуда муҳим техник муаммо ҳал этилган бўлар эди*. Ҳозирги вақтда физиклар бу муаммони ҳал этиш устида ишламоқдалар. Ўта ўтказувчанлик ҳодисасининг сабабларини фақат квант назария асосида изоҳлаш мумкин. Бу изоҳни 1957 йилга келибгина америка олимларидан Ж. Бардин, Л. Купер, Ж. Шриффер ва совет олими академик Н. Н. Боголюбов бердилар.

1986 йилда юксак ҳароратли ўта ўтказувчанлик ҳодисаси кашф этилди. Лантан, барий ва бошқа элементларнинг (сополларнинг) ўта ўтказувчанлик ҳолатига ўтиш ҳарорати 100 К га яқин бўлган мураккаб оксидли бирикмалари олинди. Бу ҳарорат атмосфера босимида суюқ азотнинг қайнаш ҳароратидан юқоридир.

Юксак ҳароратли ўта ўтказувчанлик яқин келажакда бутун электротехника, радиотехника, ЭХМ ларни конструкция қилишда муқаррар техник революцияга олиб келади. Ҳозир бу соҳадаги ривожланишни ўтказгичларни қимматбаҳо газ бўлмиш гелийнинг қайнаш ҳароратига қадар совитиш зарурати тутиб турибди.

Умид қилиш мумкинки, уй ҳарорати шароитида ишлайдиган ўта ўтказгичлар яратишга муваффақ бўламиз. Генераторлар ва электр двигателлар жуда ихчамлашади (бир неча марта кичиклашади) ва тежамли бўлади. Электр энергияни ҳар қандай масофага исрофсиз узатиш ва соддагина қурилмалар ёрдамида жамғариш мумкин бўлади.

Кўпгина металл ва қотишмалар 25 К дан паст ҳароратларда ўз қаршилигини бутунлай йўқотиб, ўта ўтказгичга айланиб қолади.

Яқиндагина юксак ҳароратли ўта ўтказувчанлик ҳодисаси кашф этилди.

?

1. Ўта ўтказгичларни амалда ишлатишнинг асосий техник муаммолари қандай?
2. Ҳалқа шаклидаги ўта ўтказгичда кучи ўзгармайдиган ток қарор топишига қандай қилиб ишонч ҳосил қилиш мумкин?

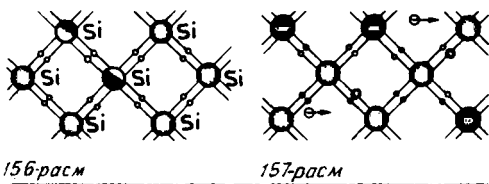
71-§. ЯРИМЎТКАЗГИЧЛАРДА ЭЛЕКТР ТОКИ

Яримўтказгичларнинг ўтказгичлардан асосий фарқи нимада? Яримўтказгичларнинг тузилишидаги қандай жиҳатлари уларнинг барча радиоқурилмалар, телевизорлар ва ЭҲМ ларда ишлатишга йўл очди?

Яримўтказгичлар электр ўтказувчанлигининг ҳароратга боғлиқлиги характерига қараб ўтказгичлардан кўп фарқ қилади. Ўлчаш натижалари ҳарорати кўтарилганда қатор элементларнинг (кремний, германий ва бошқаларнинг) ва бирикмаларнинг (RbS , CdS ва бошқаларнинг) солиштирма қаршилиги ниҳоятда кескин равишда камайишини кўрсатади (153-расм), ваҳоланки, ҳарорат кўтарилганда металлларнинг солиштирма қаршилиги ортади (155-расм). Мана шундай моддалар *яримўтказгичлар* деб аталади.

155-расмда тасвирланган графикдан абсолют нолга яқин ҳароратларда яримўтказгичларнинг солиштирма қаршилиги жуда катта бўлиши кўриниб турибди. Демак, жуда паст ҳароратларда яримўтказгич диэлектрикка ўхшаб қолади. Ҳарорат кўтарилган сари яримўтказгичнинг солиштирма қаршилиги тез камаяди.

Яримўтказгичларнинг тузилиши. Транзисторлар радиоприёмникни ишга тушириш учун яримўтказгич ва радиоприёмникнинг тузилиши ҳақида ҳеч нарсани билиш шарт эмас. Аммо уни яратиш учун жуда кўп нарсани билиш, одамнинг ўзи ҳам иқтидорли бўлиши керак. Транзисторнинг умуман қандай ишлашини билиш нунча қийин эмас. Аввало, *яримўтказгичларда ўтказувчанлик*



механизми моҳияти билан танишиш керак. Бунинг учун эса яримўтказгич кристалли атомларининг ўзаро боғлиқлиги табиати тушуниш керак. Мисол тариқасида кремний кристаллини кўриб чиқамиз.

Кремний — тўрт валентли элемент. Демак, атомнинг ташки қобиғида ядрога заифроқ боғланган тўртта электрон бўлади. Ҳар бир кремний атомининг энг яқин қўшни атомлари ҳам тўртта бўлади. Кремний кристали тузилишининг текисликда тасвирланган схемаси 156-расмда кўрсатилган.

Қўшни атомларнинг ҳар бир жуфти бир-бирига *ковалент боғланиш* деб аталадиган жуфт электронли боғланиш туфайли ўзаро таъсир кўрсатади. Бу боғланишнинг ҳосил бўлишида ҳар бир атомдан биттадан валентлик электрони қатнашади, бу электронлар атомдан ажралиб чиқиб, кристаллда муштарак бўлиб қолади ва ўз ҳаракатида кўпроқ вақт қўшни атомлар орасидаги фазода юради. Уларнинг манфий заряди кремнийнинг мусбат ионларини бир-бири яқинида тутиб туради.

Муштарак бўлиб қолган жуфт электрон фақат икки атомга тегишли деб ўйлаш тўғри эмас. Ҳар бир атом қўшнилари билан тўртта боғланиш ҳосил қилади, ҳар қандай валентлик электрони эса ана шу боғланишларнинг бири бўйлаб ҳаракат қила олади. Бу электрон қўшни атомга бориши, ундан бошқасига ўтиши ва сўнгра бутун кристалл бўйлаб кезиб юриши мумкин. Валентлик электронлари бутун кристаллга тегишлидир.

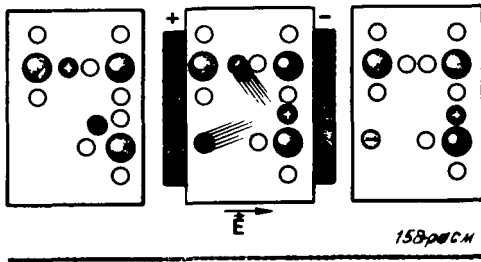
Кремнийнинг жуфт электронли боғланишлари анча мустаҳкам бўлиб, *паст ҳароратларда узилмайди*. Шунинг учун *паст ҳароратда кремний электр токини ўтказмайди*. Атомлар боғланишида иштирок этувчи валентлик электронлари кристалл панжарага мустаҳкам боғланган, шунинг учун ташқи электр майдон уларнинг ҳаракатига сезиларли таъсир кўрсатмайди. Германий кристаллининг тузилиши ҳам шунга ўхшайди.

Электронли ўтказувчанлик. Кремний қиздирилганда валентлик электронларининг кинетик энергияси ортади ва айрим боғланишлар узилади. Баъзи электронлар «ўрганган йўлларида» четга чиқиб, металлдаги электронлар сингари эркин электронларга айланади. Электр майдонда бу эркин электронлар панжаранинг тугунлари орасида кўчиб, электр токини ҳосил қилади (157-расм).

Ярим ўтказгичларнинг ўзларидаги эркин электронлар туфайли ҳосил бўлган ўтказувчанлиги электронли ўтказувчанлик деб аталади. Ҳарорат кўтарилгани сари узилган боғланишлар сони ва, демак, эркин электронлар сони ортади. 300 дан 700 К гача қиздирилганда эркин заряд ташувчилар сони $10^{17} \frac{1}{\text{м}^3}$ дан $10^{24} \frac{1}{\text{м}^3}$ га қадар ортади. *Натижада ярим ўтказгичнинг қаршилиги камаяди.*

Тешикли ўтказувчанлик. Боғланиш узилганда электрони етишмайдиган бўш жой ҳосил бўлади. Бу *тешик* дейилади. Тешикда бошқа нормал боғланишларга нисбатан ортикча мусбат заряд бўлади (к. 157-расм).

Кристаллда тешикнинг вазияти ўзгариб туради. Унда доимо қуйидаги жараён бўлиб туради. Атомларнинг бир-бирига боғлани-



шида қатнашаётган электронлардан бири ҳосил бўлган тешикка сакраб ўтиб, бу ерда жуфт электронли боғланишни тиклайди, электрон кетган жойда эса янги тешик ҳосил бўлади. Шу тариқа тешик бутун кристалл бўйлаб гўё кўчиб юргандек туюлади.

Агар намунада электр майдоннинг кучланганлиги нолга тенг бўлса, тешикларнинг мусбат зарядларнинг кўчиши билан бир хил аҳамиятга эга бўлган кўчиши тартибсиз ҳаракат бўлиб, шунинг учун электр токи ҳосил бўлмайди. Электр майдон бор бўлганда тешиклар тартибли равишда кўчади, натижада эркин электронларнинг электр токига тешикларнинг кўчишидан ҳосил бўлган электр токи қўшилади. Тешиклар электронлар ҳаракатига қарама-карши йўналишда ҳаракат қилади. Электронли ва тешикли ўтказувчанликнинг моҳияти 158-расмда тушунтириб берилган.

Шундай қилиб, яримўтказгичларда заряд ташувчилар икки хил бўлади: электронлар ва тешиклар. Шунинг учун яримўтказгичлар фақат электронли ўтказувчанликка эмас, балки тешикли ўтказувчанликка ҳам эга.

Биз идеал яримўтказгичларнинг ўтказувчанлиги моҳиятини кўриб чиқдик. Бу шароитдаги (яъни идеал яримўтказгичларнинг) ўтказувчанлик *яримўтказгичларнинг хусусий ўтказувчанлиги* деб аталади.

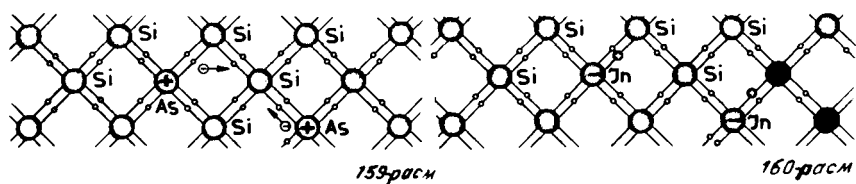
Соф яримўтказгичларнинг ўтказувчанлиги (хусусий ўтказувчанлик) эркин электронларининг кўчиши (электронли ўтказувчанлик) ва боғланган электронларнинг жуфт электронли боғланишлардаги бўш ўринларга кўчиши (тешикли ўтказувчанлик) орқали амалга оширилади.

- ❓ 1. Ковалент боғланиш деб қандай боғланишга айтилади? 2. Яримўтказгичлар қаршилигининг ҳароратга боғлиқлиги билан металллар қаршилигининг ҳароратга боғлиқлиги орасида қандай фарқ бор? 3. Соф яримўтказгичда ҳаракатчан қандай заряд ташувчилар бор? 4. Электрон тешик билан учрашиб қолганда қандай ҳодиса юз беради?

72-§. АРАЛАШМАЛИ ЯРИМЎТКАЗГИЧЛАРНИНГ ЭЛЕКТР УТКАЗУВЧАНЛИГИ.

Яримўтказгичларнинг ўтказувчанлиги уларнинг таркибида аралашма борлигига кўп жиҳатдан жуда кучли боғлиқдир. Айни шу боғланиш туфайли яримўтказгичлар ҳозирги замон техникасидаги мавқега эришди.

Одатда яримўтказгичларнинг хусусий ўтказувчанлиги унча катта бўлмайди, чунки уларда эркин электронлар жуда оз, масалан, уй ҳароратида германийда $n_e = 3 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$. Ваҳоланки, 1 см^3 германийдаги атомлар сони 10^{23} тартибида бўлади. Шундай



қилиб, эркин электронлар сони умумий атомлар сонининг ўн миллиарддан бир қисми тартибдагина бўлади.

Яримўтказгичларнинг муҳим хусусияти шундан иборатки, уларда аралашмалар бўлса, хусусий ўтказувчанлик билан бир қаторда *аралашмали ўтказувчанлик* деб аталадиган қўшимча ўтказувчанлик ҳам пайдо бўлади. Аралашманинг концентрацияси ни ўзгартириб, мусбат ёки манфий ишорали заряд ташувчи зарралар сонини анча ўзгартириш мумкин. Шу туфайли ё манфий, ё мусбат заряд ташувчиларнинг концентрацияси кўп бўлган яримўтказгичларни яратиш мумкин. Яримўтказгичларнинг бу хусусияти уларни амалда қўлланишга кенг имкониятлар очиб беради.

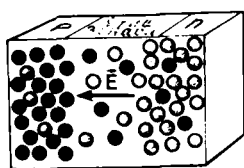
Донор аралашмалар. Яримўтказгичда жуда оз концентрацияда аралашма бўлса, масалан, унга жуда оз мишьяк (маргимуш) атомлари қўшилса, эркин электронлар сони кўп марта ортар экан. Бунинг сабаби қуйидагича. Мишьяк атомларининг валентлик электронлари бешта бўлади. Улардан тўрттаси бу атомнинг атрофдаги атомлар билан ковалент боғланиш ҳосил қилишида иштирок этади. Бешинчи валентлик электрони эса ўз атоми билан заиф боғланган. Бу электрон мишьяк атомидан осонгина чиқиб кетиб, эркин бўлиб қолади (159-расм).

Яримўтказгичга мишьяк атомлари ўн миллиондан бир улуш миқдорда қўшилса, эркин электронлар концентрацияси 10^{-16} см⁻³ га тенг бўлиб қолади. Бу концентрация соф яримўтказгичдан эркин электронлар концентрациясидан минг марта ортик.

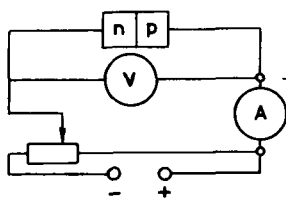
Электронларини осон берадиган ва бинобарин, эркин электронлари сонини осон орттирадиган аралашмалар *донор (топширувчи) аралашмалар* деб аталади.

Донор аралашма қўшилган яримўтказгичларда электронлар сони тешиқлар сонидан кўп бўлгани учун бундай ярим ўтказгичлар *n*-тип ярим ўтказгичлар деб аталади (*negativ* — манфий деган сўздан олинган). *n*-тип яримўтказгичда электронлар *асосий заряд ташувчилар*, тешиқлар эса ноасосий заряд ташувчилар бўлиб ҳисобланади.

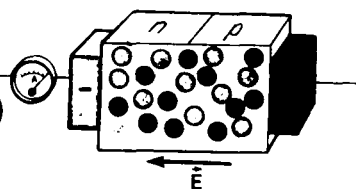
Акцептор аралашмалар. Аралашма сифатида уч валентли индий олинса ҳам яримўтказгич ўтказувчанлигининг характери ўзгаради. Бу ҳолда индий атоми қўшни атомлар билан жуфт электронли нормал боғланиш ҳосил қилиши учун унга битта электрон етишмайди. Натижада тешиқ ҳосил бўлади. Бу ҳолда кристаллдаги тешиқлар сони аралашманинг атомлари сонига тенг



161-расм



162-расм



163-расм

бўлиб қолади (160-расм). Бундай аралашмалар *акцептор* (олувчи) *аралашмалар* деб аталади. Электр майдон мавжуд бўлганда тешиқлар майдони бўйлаб кўчади ва тешиқли ўтказувчанлик юзага келади. Электронли ўтказувчанлигидан тешиқли ўтказувчанлиги устун бўлган яримўтказгичлар *p*-тип яримўтказгичлар деб аталади. (*positiv* — мусбат деган сўздан олинган). *p*-тип яримўтказгичда тешиқлар асосий заряд ташувчилар, электронлар эса ноасосий заряд ташувчилар бўлиб ҳисобланади.

Донор аралашмалар ортиқча валентлик электронларини қайтариб беради: *n*-тип яримўтказгич ҳосил бўлади. Акцептор аралашмалар тешиқларни ҳосил қилади: *p*-тип яримўтказгич ҳосил бўлади.

?

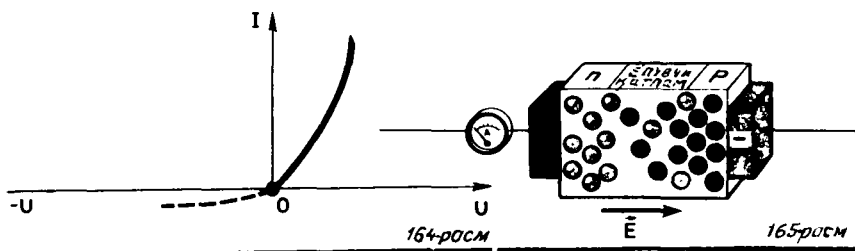
1. Нима сабабдан яримўтказгичнинг қаршилиги аралашмалар борлигига жуда кучли боғлиқ?
2. Акцептор аралашма қўшилган яримўтказгичда заряд ташувчи қандай зарралар асосий ҳисобланади?
3. *n*-тип ярим ўтказгич ҳосил қилиш учун қандай аралашма кўшиш керак?

73-§. *n*-ТИП ВА *p*-ТИП ЯРИМЎТКАЗГИЧЛАРНИНГ БИР-БИРИГА ТЕГИШ [КОНТАКЛАШИШ] ЖОЙИДАН ЭЛЕКТР ТОКИ УТИШИ

n-тип ва *p*-тип яримўтказгичларнинг бир-бирига тегиш жойида ажойиб ҳодисалар юз беради. Бу ҳодисалардан ярим ўтказгичли асбобларда фойдаланилади.

161-расмда ўнг томони донор аралашмага, чап томони акцептор аралашмага эга бўлган ярим ўтказгич схемаси тасвирланган. Демак, бу яримўтказгичнинг ўнг томони *n*-тип яримўтказгич, чап томони эса *p*-тип ярим ўтказгич экан. Электронлар рангли, тешиқлар қора тўгаракчалар билан тасвирланган. Турли типдаги иккига ярим ўтказгичнинг бир-бирига тегиш жойи *p*—*n*-ўтиш деб аталади.

p — *n*- ўтиш ҳосил бўлишида электронларнинг бир қисми *n*-тип яримўтказгичдан *p*-тип яримўтказгичга ўтади. тешиқлар эса бунга тесқари йўналишда ўтади. Турли хил икки газ бир-бирига текканда молекулалари хаотик ҳаракат ҳисобига аралашиб кетадиган ҳолдагига ўхшаган диффузия жараёни юз беради. Натижада *n*-тип яримўтказгич манфий зарядланади. Ўтиш зонасида пайдо бўладиган электр майдон электрон ва тешиқларнинг янада кўчаверишига қаршилиқ қила бошлагандан сўнг диффузия тўхтади.



$p-n$ ўтиш соҳасига эга бўлган яримўтказгични электр занжирга (162-расм) улаймиз. Аввал батарея p -тип яримўтказгичнинг потенциали мусбат, n -тип яримўтказгичнинг потенциали манфий бўладиган қилиб улаймиз. Бунда $p-n$ ўтиш соҳаси орқали ток ўтишини асосий заряд ташувчилар таъминлайди: зарядни n соҳадан p -соҳага электронлар олиб ўтади, p -соҳадан n соҳага эса тешиқлар олиб ўтади (163-расм). Бунинг оқибатида бутун намунанинг ўтказувчанлиги катта, қаршилиги кичик бўлади.

Бу ерда кўриб чиқилган ўтиш *тўғри ўтиш* деб аталади. Тўғри ўтишдаги ток кучи билан потенциаллар фарқи орасидаги муносабат, яъни вольт-ампер характеристикаси 164-расмда яхлит чизик билан тасвирланган.

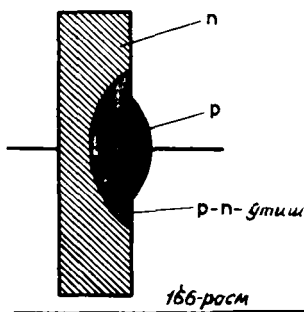
Энди батареянинг қутбларини алмаштириб улаймиз. Бунда потенциаллар фарқи аввалгича бўлгани ҳолда занжирда ток кучи тўғри ўтишдагидан анча кичик бўлади. Бунинг сабаби қуйидагича. Бу ҳолда турли типдаги яримўтказгичлар тегиб турган зона орқали электронлар p соҳадан n соҳага, тешиқлар эса n соҳадан p соҳага ўтади. Лекин p -типдаги яримўтказгичда эркин электронлар оз, n -типдаги яримўтказгичда эса тешиқлар оз. Бу ҳолда контакт орқали зарядларни асосий бўлмаган заряд ташувчи зарралар олиб ўтади, уларнинг сони эса жуда оз (165-расм). Бунинг натижасида намунанинг ўтказувчанлиги кичик, қаршилиги катта бўлади. *Бекитувчи қатлам* деб аталадиган қатлам ҳосил бўлади. Бу ўтиш тесқари ўтиш деб аталади. Тесқари ўтишнинг вольт-ампер характеристикаси 164-расмда пунктир чизик билан тасвирланган.

Шундай қилиб, $p-n$ ўтиш токка нисбатан симметрик эмас экан: ток тўғри йўналишда ўтганда ўтиш соҳасининг қаршилиги тесқари йўналишда ўтгандагидан анча кичик.

- ?
1. n -тип яримўтказгич билан p -тип яримўтказгич бир-бирига текканда нима юз беради?
 2. Бекитувчи қатлам деб нимага айтамыз?
 3. Қандай ўтиш тўғри ўтиш деб аталади?

74-§. ЯРИМУТКАЗГИЧЛИ ДИОД

Ўзгарувчан токни ўзгармас токка айлантирувчи ҳозирги замон тўғрилагичларида асосий элемент яримўтказгичли диоддир. У қандай тузилган?



Ҳозирги вақтда радиосхемаларда ўзгарувчан электр тоқини тўғрилаш учун икки электродли электрон лампалар ¹ билан бир қаторда яримўтказгичли диодлар тобора кенг қўлланилмокда, чунки уларнинг афзал томонлари кўп. Электрон лампада заряд ташувчи электронлар термоэлектрон эмиссия ҳисобига ҳосил қилинади. Бу ҳол электр энергиянинг махсус манбаи бўлишини талаб қилади.

$p-n$ -ўтишда заряд ташувчи зарралар кристаллга акцептор ёки донор аралашма киритиш йўли билан ҳосил қилинади. Шундай қилиб, бу ерда эркин заряд ташувчилар ҳосил қилиш мақсадида энергия манбаидан фойдаланишга зарурат қолмайди. Мураккаб схемаларда бунинг ҳисобига анча электр энергия тежаллади. Яримўтказгичли тўғрилагичлар электрон лампаларга қараганда анча ихчам бўлади, шунга қарамасдан улар электрон лампалар тўғрилайдиган катталикдаги тоқларни бемалол тўғрилайверади. Шунинг учун яримўтказгичлардан йиғилган радиоқурилмалар анча ихчам.

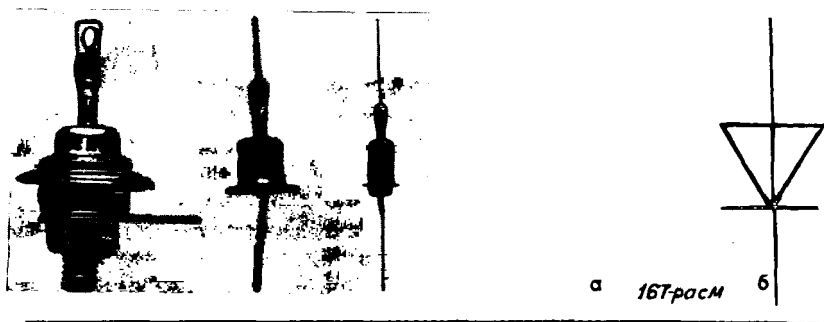
Яримўтказгичли элементларнинг юқорида қайд қилиб ўтилган афзалликлари уларнинг Ернинг сунъий йўлдошларида, космик кемаларда, электрон-ҳисоблаш машиналарида қўлланилишида айниқса муҳим аҳамият касб этади.

Яримўтказгичли диодлар германий, кремний, селен ва бошқа моддалардан тайёрланади.

Озгина донор аралашма қўшиш ҳисобига n -типдаги ўтказувчанликка эга бўлган германийни диодда ишлатганда $p-n$ -ўтишнинг қандай ҳосил бўлишини кўриб чиқамиз. Ўтказувчанлигининг типини ҳар хил бўлган иккита яримўтказгични механик равишда қўшиш йўли билан $p-n$ -ўтиш ҳосил қилиб бўлмайди, чунки бу ҳолда яримўтказгичлар ораси анча очик бўлади. $p-n$ -ўтиш зонасининг қалинлиги эса атомлар орасидаги масофадан ортик бўлмаслиги керак. Шунинг учун намунанинг (германийнинг) бир сиртига индий эритиб ёпиштирилади. Индий атомларининг германий монокристали ичига сингиши (диффузияси) натижасида германий сирти яқинида p -тип ўтказувчанлик соҳаси ҳосил бўлади. Германий намунасининг индий атомлари кириб етмаган қисми аввалгича n -тип ўтказувчанликка эга бўлиб қолаверади. Ўтказувчанлигининг типини турли хил бўлган икки соҳа орасида $p-n$ -ўтиш соҳаси пайдо бўлади (166-расм). Яримўтказгичли диодда германий катод, индий эса анод бўлиб хизмат қилади.

Ҳаво ва ёруғлиқнинг зарарли таъсиридан эҳтиёт қилиб сақлаш мақсадида германий кристалли герметик металл корпус ичига

¹ Икки электродли лампалар тўғрисида 77-§ да гапирялади.



а 167-расм

б

жойланади (167, а-расм). Диоднинг схематик тасвири 167, б-расмда кўрсатилган. Яримўтказгичли тўғрилагичлар жуда ишончли бўлади ва узок муддат хизмат қилади. Бирок улар ҳароратларнинг чекланган оралиғидагина (-70 билан $+125^{\circ}\text{C}$ орасидагина) ишончли ишлай олади.

Ўзгарувчан токни тўғрилашда $p-n$ -ўтиш соҳасининг хоссаларидан фойдаланилади. p -тип яримўтказгичда потенциал мусбат бўлган даврнинг бутун ярмида ток $p-n$ -ўтиш соҳасидан бемалол ўтаверади. Даврнинг кейинги ярими давомида ток амалда нолга тенг.

75-§. ТРАНЗИСТОРЛАР

Транзистор¹ — ажойиб асбоб. Транзисторнинг ишлаш принципи тушуниш осон эмас, аммо уни ихтиро қилишибди-ку! Ишончимиз комилки, Сиз унинг қандай ишлаштини қисқача тавсифномага қараб ҳам ўрганиб оласиз.

Германий ёки кремнийдан ясалган, ичига донор ва акцептор аралашмалар қўшилган *транзисторлардан* бирини кўриб чиқамиз. Аралашма шундай қўшилганки, p -тип яримўтказгичнинг икки қатлами орасида n -тип яримўтказгичнинг жуда юққа (бир неча микрон чамасида) қатлами ҳосил қилинади (168-расм). Бу юққа қатлам *асос ёки базис* деб аталади.

Кристаллда иккита $p-n$ -ўтиш соҳаси ҳосил бўлади, буларнинг тўғри ўтиш йўналишлари бир-бирига қарама-қарши. Ўтказувчанликларининг типни турлича бўлган соҳалардан чиққан учта клемма транзисторни 168-расмда тасвирланган схема бўйича улашга имкон беради. Транзистор расмда кўрсатилгандек уланганда чапдаги $p-n$ -ўтиш тўғри ўтиш бўлиб, базани ўтказувчанлиги p -типдаги соҳадан ажратиб туради; бу соҳа *эмиттер* деб аталади. Агар ўнг томондаги $p-n$ -ўтиш соҳаси бўлмаганда эди, «эмиттер — база» занжирида ток бўлган бўлар эди, бу токнинг кучи манбалари

¹ Инглизча transfer — *қўшириш* ва resistor — *қаршилик* сўзларидан келиб чиққан.

(Б 1батарея ва ўзгарувчан кучланиш манбаининг) кучланишига ва занжирнинг қаршилигига боғлиқ бўлар эди (занжирнинг қаршилигига «эмиттер — база» тўғри ўтишнинг жуда кичик қаршилиги ҳам қўшилади).

Б2 батарея уланганки, схемадаги ўнг p — n -ўтиш (қ. 168-расм) тескари ўтиш бўлади. Ўнг томондаги p — n -ўтиш базани p -тип ўтказувчанликли ўнг сохадан ажартиб туради: бу ўнг соҳа коллектор деб аталади. Агар чап томондаги p — n -ўтиш бўлмаганда эди, коллектор занжиридаги ток кучи нолга яқин бўлар эди, чунки тескари ўтишнинг қаршилиги жуда катта. Чап томондаги p — n -ўтишда ток бўлганда коллектор занжирида ҳам ток пайдо бўлар ва токнинг кучи эмиттердаги ток кучидан салгина кичик бўлар эди¹.

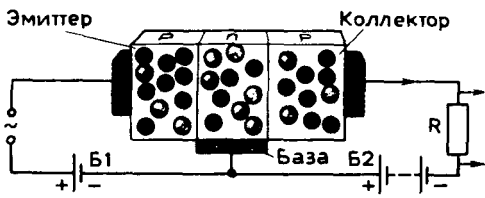
Бу ерда гап бундай. Эмиттер билан база орасида кучланиш хосил қилишда p -тип яримўтказгичнинг асосий заряд ташувчилари бўлмиш тешиқлар базага ўтиб, у ерда улар ноасосий заряд ташувчилар бўлиб қолади. База жуда юпка ва ундаги асосий заряд ташувчилар (электронлар) сони кўп бўлмагани учун базага тушган тешиқлар ундаги электронлар билан деярли рекомбинациялашмайди ва диффузия ҳисобига коллекторга ўтади. Ўнг томондаги p — n -ўтиш зонаси базанинг асосий заряд ташувчилари бўлмиш электронларни ўтказмайди, бироқ тешиқларни ўтказайди. Коллекторда тешиқлар электр майдон таъсирида ҳаракатга келиб занжирни бекитади. Эмиттер занжирига базадан тармоқланиб ўтадиган ток кучи жуда кичик, чунки базанинг горизонтал текисликдаги кўндаланг кесими (168-расм бўйича) вертикал текисликдаги кўндаланг кесимидан анча кичик.

Коллектордаги ток кучи амалда эмиттердаги ток кучига тенг бўлиб, эмиттердаги ток билан бирга ўзгаради. R резисторнинг қаршилиги коллектордаги токка кам таъсир кўрсатади, бу қаршилиқни етарлича катта қилиш мумкин. Эмиттер тоқини эмиттер занжирига қўшилган ўзгарувчан кучланиш манбаи ёрдамида бошқариб биз R резистордаги кучланишни синхрон равишда ўзгартира оламиз.

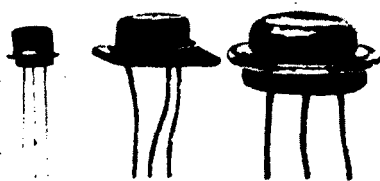
Резисторнинг қаршилиги катта бўлганда ундаги кучланишнинг ўзгариши эмиттер занжиридаги сигнал кучланишининг ўзгаришидан бир неча ўн минг марта ортиқ бўлиши мумкин. Бу эса кучланиш кучайтираётганлигини билдиради. R резисторда чиқадиган қувват ҳам эмиттер занжирида сарф қилинаётган қувватдан анча ортиқ бўлади.

Транзисторларнинг қўлланилиши. Ҳозирги замон техникасида транзисторлар (169-расм) ниҳоятда кенг қўлланилади. Улар

¹ Агар эмиттерга манфий кучланиш берилса, чапдаги p — n -ўтиш тескари ўтиш бўлади ва у ҳолда эмиттер занжирида ҳам, коллектор занжирида ҳам ток деярли бўлмайди.



168-расм



169-расм

илмий соҳада, саноатда ва турмушда ишлатиладиган аппаратларнинг кўп электр занжирларида электрон лампаларнинг ўрнини босади. Бундай асбоблар ишлатиладиган жажжи радиоприёмникларни одамлар «транзисторлар» дейишади. Транзисторлар ва ярим ўтказгичли диодларнинг электрон лампалар олдидаги афзал томони аввало анча қувват ва қизиш учун анча вақт талаб қилиб чўғланадиган катоднинг йўқлигидир. Ундан ташқари, бу асбоблар электрон лампаларга қараганда бир неча ва ўн юзлаб марта кичик бўлиб, массалари ҳам жуда кўп марта оз. Улар киёсан пастрок кучланишларда ишлайди.

Транзисторларнинг камчилиги ярим ўтказгичли диодларнинг камчилиги билан бир хил. Улар ҳароратнинг кўтарилишига, ортикча электр нагрузкаларига ва кучли таъсир қиладиган нурланишларга чидамайди.

$p - n$ -ўтишнинг хоссалари яримўтказгичларда электр тебранишларини ҳосил қилиш ва кучайтириш учун ишлатилади.

- ?
1. Нима учун транзисторнинг базаси тор бўлиши керак? 2. Базаси p -тип яримўтказгич, эмиттери ва коллектори n -тип яримўтказгич бўлган транзисторни тармоққа қандай улаш керак? 3. Нима учун коллектордаги ток эмиттердаги токка тахминан тенг бўлади?

76-§. ТЕРМИСТОРЛАР ВА ФОТОРЕЗИСТОРЛАР

Яримўтказгичли диод ва транзисторлар яримўтказгичларнинг ҳамма имкониятлари эмас. Яримўтказгичли асбобларнинг яна икки тури билан танишамиз.

Термисторлар. Яримўтказгичларнинг электр қаршилиги ҳароратга кўп даражада боғлиқ. Яримўтказгичларнинг бу хоссасидан яримўтказгичли занжирдан ўтаётган ток кучига қараб ҳароратни ўлчашда фойдаланилади. Бу асбоблар *термисторлар* ва *терморезисторлар* деб аталади.

Термисторлар яримўтказгичли асбобларнинг энг оддийси ҳисобланади. Улар стержень, найча, диск, шайба ва мунчок шаклида ишланиб, ўлчамлари бир неча микрометрдан тортиб бир неча сантиметргача бўлади (170-расм).

Кўпчилик термисторлар 170 дан 570 К гача ораликдаги ҳароратни ўлчайди. Бирок жуда юқори (≈ 1300 К) ҳароратларни ва жуда паст ($\approx 4-80$ К) ҳароратларни ўлчайдиган термисторлар ҳам бор.

Термисторлар ҳароратни олисдан туриб ўлчашда, ёнгина қарши сигнал бериш қурилмаларида ва бошқаларда қўлланилади.

Фоторезисторлар. Яримўтказгичларнинг электр ўтказувчанлиги киздирилгандагина эмас, балки ёритилганда ҳам ортади.

Шундай эканлигини кўриш учун схемаси 171- расмда тасвирланган қурилмадан фойдаланамиз. Яримўтказгичга ёруғлик тушганда (172- расм) занжирдаги ток кучи сезиларли равишда ортади. Демак, ёруғлик таъсирида яримўтказгичнинг электр ўтказувчанлиги ортади (қаршилиги камайди). Бу эффектнинг кизишга алоқаси йўқ, чунки у ҳарорат ўзгармаганда ҳам юз беради.

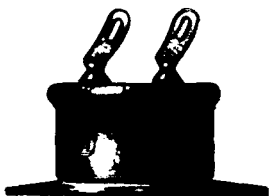
Электр ўтказувчанлик яримўтказгичга тушган ёруғлик энергияси ҳисобига боғланишларнинг узилиши, эркин электронлар ва тешиқлар ҳосил бўлиши туфайли ортади. Бу ҳодиса *фотоэлектр эффекти* деб аталади.

Яримўтказгичларда юз берадиган фотоэлектр эффекти ҳодисасидан фойдаланадиган асбоблар *фоторезисторлар* ёки *фотоқаршилиқлар* деб аталади. Фоторезисторларнинг ихчам ва юқори даражада сезгир бўлиши кучсиз ёруғлик оқимларини қайд қилиш ва ўлчашда улардан фан ва техниканинг турли соҳаларида фойдаланишга имкон беради. Фоторезисторлар ёрдамида сиртларнинг сифати аниқланади, буюмларнинг ўлчамлари назорат қилиб турилади ва ҳоказо.

Терморезисторлар ҳароратни ўлчайди. Фоторезисторлар заиф ёруғлик оқимларини қайд қилади ва ўлчайди.

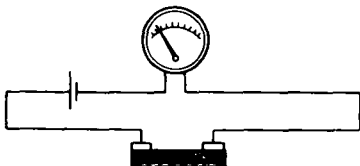
1. Терморезисторларнинг одатдаги термометрлардан қандай афзалликлари бор? 2. Нима учун яримўтказгичнинг сиртига ёруғлик тушганда ўтказувчанлиги ортади?

77- §. ВАКУУМДА ЭЛЕКТР ТОКИ. ДИОД

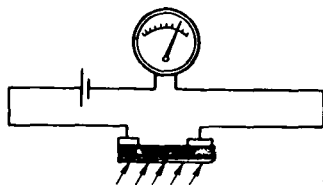


170-расм

Яримўтказгичларнинг ажойиб хоссалари кашф этилишидан олдин радиотехникада фақат электрон лампалар ишлатилиб келинган. Бу лампаларда, шунингдек ҳозир ҳам ишлатиладиган электрон-нур трубкаларида электронлар вакуумда ҳаракат қи-



171-расм



172-расм Ёруғлик

лади. Вакуумда электронлар оқими қандай қилиб ҳосил қилинади? Уларнинг хоссалари қандай?

Найдаги газни сўриб олавериб, унинг концентрациясини шу даражага етказиш мумкинки, бунда молекулалар бир девордан иккинчи деворга бир-бири билан бир марта ҳам тўқнашмай ета оладиган бўлади. Найдаги газнинг бундай ҳолати *вакуум* деб аталади.

Вакуумда электродлар орасида электр ўтадиган қилиш учун найга зарядли зарралар манбаини киритиш керак.

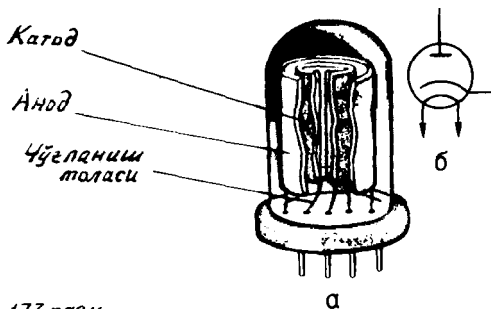
Термоэлектрон эмиссия ҳодисаси. Кўпинча, *бундай зарядли зарралар манбаининг ишлаши юқори ҳароратга қадар қиздирилганда жисмларнинг электронлар чиқариш хоссасига асосланади. Бу термоэлектрон эмиссия ҳодисаси деб аталади.* Бу жараёнда металл сиртидан электронларнинг буғланиши деб қараш мумкин. Кўпгина қаттиқ моддаларда термоэлектрон эмиссия ҳали модданинг ўзи буғланмаётган ҳароратларда бошланади. Катодлар шундай моддалардан ясалади.

Бир томонлама ўтказувчанлик. Термоэлектрон эмиссия ҳодисаси шу нарсага сабаб бўладикки, қиздирилган металл электрод совук электроддан фарқ қилиб, муттасил равишда электронлар чиқариб туради. Электронлар электрод атрофида «электронлар булути» ҳосил қилади. Бунда электрод мусбат зарядланади ва электр майдон таъсирида булутдаги электронларнинг бир қисми электродга қайтиб ўтади.

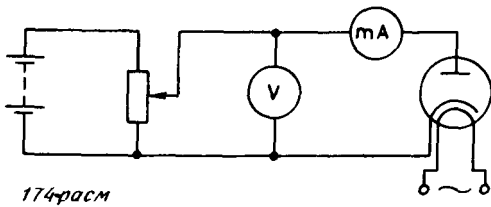
Мувозанат ҳолат қарор топганда электроддан бир секунд ичида чиқиб кетган электронлар сони ўша вақт ичида электродга қайтиб келган электронлар сонига тенг бўлади. Металлнинг ҳарорати қанчалик юқори бўлса, электронлар булутининг зичлиги шунчалик катта бўлади.

Ичидан хавоси сўриб олинган идишга қавшарлаб ёпиштирилган қизилган ва совук электродлар бир-биридан фарқ қилгани учун бу электродлар орасида электр токи бир томонлама ўтади.

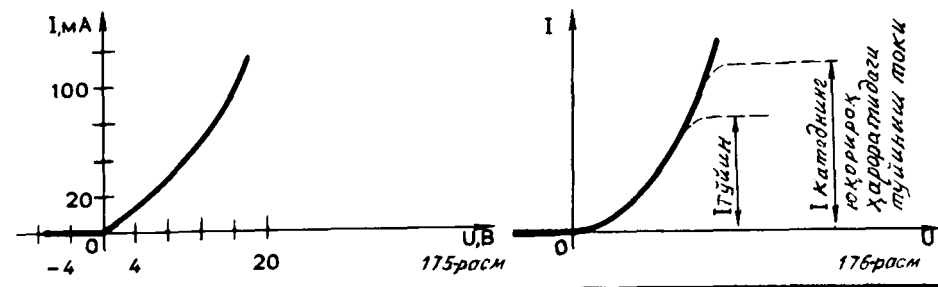
Электродлар ток манбаига уланганда улар орасида электр майдон пайдо бўлади. Агар манбанинг мусбат кутби совук электродга (анодга), манфий кутби қизилган электродга (катодга) уланган бўлса, у ҳолда электр майдоннинг қучланганлиги қизилган электродга томон йў-



173-расм



174-расм



налади. Бу майдон таъсирида электронларнинг бир қисми булутдан чиқиб кетиб совуқ электродга томон ҳаракат қилади. Электр занжири бекилади ва унда электр токи қарор топади. Манба аввалгига тесқарича уланганда электр майдоннинг кучланганлиги катоддан анодга қараб йўналади. Электр майдон булутдаги электронларни орқага итариб катодга томон ҳаракатга келтиради. Занжир узилиб қолади.

Диод. Бир томонлама ўтказувчанликдан икки электродли электрон асбобларда, яъни *вакуумли диодларда* фойдаланилади.

Ҳозирги замон вакуумли диоди (электрон лампа) бундай тузилган. Ичидаги ҳаво босими 10^{-6} — 10^{-7} мм сим. уст. га тушгунча сўриб олинган шиша ёки металл-сопол баллон ичига икки электрод қўйилган (173, а-расм). Бу электродлардан бири катод бўлиб, у устига барий, стронций, кальций каби ишқорий-ер металлларининг оксидлари қопланган вертикал металл цилиндр шаклида ишланади. Бундай катод оксидли катод деб аталади.

Қиздирилганда оксидли катоднинг сирти тоза металлдан ясалган катоддан кўра анча кўп электрон чиқаради. Катоднинг ичида изоляцияланган ўтказгич бўлиб, у ўзгарувчан ток билан қиздирилади. Агар аноднинг потенциали катоднинг потенциалдан юқори бўлса, қиздирилган катод чиқарган электронлар анодга етиб боради.

Лампанинг аноди асоси доира ёки овал шаклида ишланган цилиндр бўлиб, унинг ўқи катод ўқи билан бир. Диоднинг схематик тасвири 173, б-расмда кўрсатилган.

Диоднинг вольт-ампер характеристикаси. Ҳар қандай электрон қурилманинг муҳим хоссаларини унинг вольт-ампер характеристикаси, яъни ток кучи билан бу қурилма клеммаларидаги потенциаллар фарқи орасидаги муносабат ақс эттиради. Диоднинг вольт-ампер характеристикасини схемаси 174-расмда кўрсатилган занжир ёрдамида олиш мумкин. Металл ўтказгичнинг характеристикасидан фарқли ўларок бу характеристика чизикли эмас (175-расм). Вакуумли диоднинг характеристика чизикли бўлмаганлигининг асосий сабаби шундаки, диод фазосида ток ҳосил қилувчи эркин электронларни электродлардан бири чекли микдорда чиқаради. Ундан ташқари, *электронлар ҳаракати*га

электродлардаги зарядлар ҳосил қилган майдон билан бирга катод яқинидаги электронлар булути фазовий заряднинг майдони ҳам кучли таъсир кўрсатади.

Анод билан катод орасидаги кучланиш қанчалик юқори бўлса электронлар булутининг фазовий заряди шунчалик кам, анодга етиб борадиган электронлар сони шунчалик кўп ва бинобарин, лампадаги ток кучи шунчалик катта бўлади. Агар катодга оксид катлами қопланган бўлмаса, кучланиш анча катта бўлганда катоддан чиққан электронларнинг ҳаммаси анодга етиб боради ва кучланиш янада орттирилгани билан ток кучи ўзгармайди, токнинг *тўйиниш ҳолати* деб аталадиган ҳолат юз беради (176- расмдаги пунктир чизик). Агар чўғланиш занжиридаги реостатнинг қаршилиги ўзгартириш орқали катоднинг ҳарорати кўтарилса катоддан тобора кўпроқ электрон чиқади. Катод атрофидаги электронлар булути зичроқ бўлиб қолади. Ток тўйиниш ҳолатига анод билан катод орасидаги кучланиш каттарок бўлганда эришади ва тўйиниш токнинг кучи ортади (176- расмдаги иккинчи пунктир чизик). Оксид катодли электрон лампада ток тўйиниш ҳолатига етмайди, чунки бунинг учун потенциаллар айирмаси шу қадар катта бўлиши керакки, бундай ҳолда катод емирилиб ишга ярамай қолади.

Вакуумли диодлар ярим ўтказгичли диодлар билан бир каторда ўзгарувчан электр токини тўғрилашда ишлатилади.

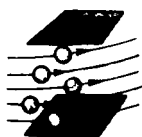
Вакуумда ток ҳосил қилиш учун зарядли зарраларнинг махсус манбаи керак. Бундай манбанинг ишлаши одатда термоэлектрон эмиссия ҳодисасига асосланади. Икки электродли вакуумли асбоб — диод бир томонлама ўтказиш хоссасига эга. Диоднинг бу хоссаси ўзгарувчан токни тўғрилашда ишлатилади.

- ?
1. Нима мақсадда электрон лампалар ичида вакуум ҳосил қилинади?
 2. Вакуумли диоднинг тузилиши қандай?
 3. Диоднинг вольт-ампер характеристикасини чизинг ва унинг хусусиятларини тушунтириб беринг.

78- §. ЭЛЕКТРОНЛАР ДАСТАСИ. ЭЛЕКТРОН-НУР ТРУБКАСИ

Агар электрон лампанинг анодига тешик очилса, электр майдонда тезлашган электронларнинг бир қисми шу тешикдан учиб ўтиб, анод орқасида электронлар дастасини ҳосил қилади. Катод билан анод орасига қўйилган қўшимча электроднинг потенциалини ўзгартириш йўли билан дастадаги электронлар сонини ўзгартириш мумкин. Электронлар дастасидаги тез ҳаракатланувчи зарралар модда билан ўзаро таъсир қилишганда амалда қўлланиладиган хилма-хил ҳодисалар юз беради.

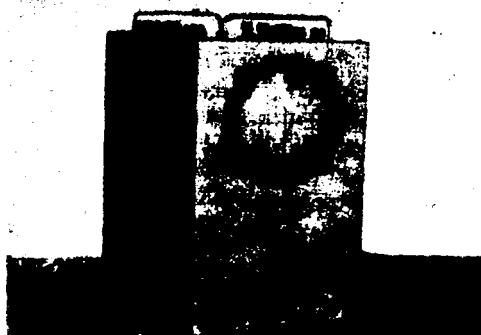
Электронлар дастасининг хоссалари ва қўлланилиши. *Электронлар дастаси жисмга тушганда уни иситади.* Электронлар дастасининг бу хоссасидан ҳозирги замон техникасида ўта соф металлларни вакуумда электронлар воситасида эритишда фойдаланилади.



177-расм



178-расм



179-расм.

Тез ҳаракатланувчи электронлар моддага урилиб секинлашганда Рентген нурлари пайдо бўлади. Бу хоссадан Рентген трубкаларида фойдаланилади, буни Сиз XI синфда ўрганасиз.

Устига электронлар ёғдирилганда баъзи моддалар (шиша, рух, ва кадмий сульфидлар) ёруғлик чиқаради. Ҳозирги вақтда бундай моддалар (люминофорлар¹) орасида ўзига тушган электронлар дастаси энергиясининг 25 % гача қисмини ёруғлик энергиясига айлантиради-ганлари амалда қўлланилади.

Электр майдон электронлар дастасини оғдиради. Масалан, конденсатор-

нинг пластинкалари орасидан ўтаётганда электронлар манфий зарядли пластинкадан мусбат зарядли пластинка томон оғади (177- расм).

Электронлар дастаси магнит майдонда ҳам оғади. Магнитнинг шимолий кутби устидан ўтаётганда эса ўнгга оғади (178- расм). Куёшдан келаётган электрон оқимлари Ернинг магнит майдонида оғади. Шунинг учун атмосферанинг юқори катламларидаги газларнинг ёруғлик чиқариш ҳодисаси (кутб шафағи) фақат кутбларда юз беради.

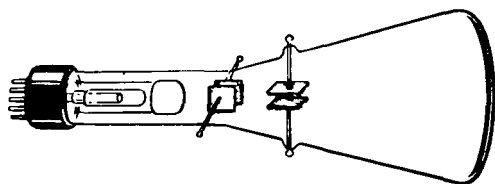
Электронлар дастасини электр ёки магнит майдон ёрдамида бошқариш имкониятларидан ва люминофор суркалган экраннинг электронлар дастаси таъсирида ёруғлик чиқаришидан электрон-нур трубкаларида фойдаланилади.

Электрон-нур трубкаси. Электрон-нур трубкаси телевизор ва осциллографнинг² асосий қисми ҳисобланади. Осциллограф электр занжирларида бўладиган тез ўзгарувчан жараёнларни тадқиқ қилишда ишлатиладиган асбобдир (179- расм).

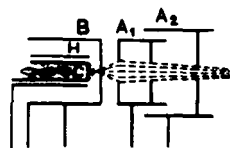
Электрон-нур трубкасининг тузилиши 180-расмда кўрсатилган. Бу асбоб ичидан хавоси сўриб олинган баллон бўлиб,

¹ Латинча «люмен» — ёруғлик ва грекча «форос» — ялғузчи сўзларидан келиб чиққан.

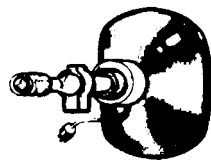
² Латинча «осцилло» — тебранаман ва грекча «графо» — ёзаман сўзларидан келиб чиққан.



180-расм



181-расм



182-расм

унинг деворларидан бири экран вази-
фасини ўтайди. Трубканинг тор
учида тез электронлар манбаи, яъни
электронлар замбараги туради (181-
расм). Замбарак катод, бошқарувчи
электрод ва аноддан иборат (кў-
пинча бир неча анод бир-кетин туради). Цилиндрик C катоднинг
иссиқликдан ҳимоя қиладиган H экран билан ўралган қизди-
рилган оксидли қатлами электронлар чиқаради. Кейин бу
электронлар бошқарувчи цилиндрик B электроддаги тешикдан
ўтади (бошқарувчи электрод дастадаги электронлар сонини
ростлаб туради). A_1 ва A_2 анодларнинг ҳар бири металл
цилиндрга киргизиб қўйилган майда-майда тешикли диска-
лардир. Биринчи анод билан катод орасида бир неча юз ва
хатто бир неча минг вольт потенциаллар айирмаси ҳосил
қилинади. Кучли электр майдон электронларни тезлаштиради ва
оқибатда улар катта тезлик олади. Анодларнинг шакли, жойла-
шиш тартиби ва потенциаллари шундай танланганки, бунда
электронларнинг тезлашиши билан бирга электронлар дастаси
фокусланади ҳам, яъни дастанинг экрандаги кўндаланг кесими
нуктага айлангунча кичраяди.

Электронлар дастаси экранга томон босиб ўтадиган йўлида
икки жуфт бошқарувчи пластинкалар орасидан ўтади (бу
пластинкалар ясси конденсатор пластинкаларига ўхшайди)
(қ. 180-расм). Агар пластинкалар орасида электр майдон
бўлмаса, даста оғмайди ва ёруғ нукта экраннинг марказига
тушади. Вертикал жойлашган пластинкаларга потенциаллар
айирмаси берилса, даста горизонтал йўналишда силжийди, горизон-
тал жойлашган пластинкаларга потенциаллар фарқи берилса,
даста вертикал йўналишда силжийди.

Иккала жуфт пластинкаларни биргаликда ишлатиб, ёруғ
нуктани экранда истаган йўналишда силжитиш мумкин. Элект-
ронларнинг массаси жуда кичик бўлгани учун бошқарувчи
пластинкаларнинг потенциаллари фарқи ўзгаришини дарҳол
сезади.

Телевизорда ишлатиладиган электрон-нур трубкасида (ки-
нескопда) электронлар замбараги ҳосил қилинган даста магнит

майдон ёрдамида бошқарилади. Бу магнит майдонни трубканинг бўғзига кийдирилган ғалтаклар ҳосил қилади (182- расм).

Электрон-нур трубкалари электрон-ҳисоблаш машиналарига (ЭХМ ларга) уланадиган қурилмаларда, яъни *дисплейларда* кенг қўлланилади. Дисплейнинг телевизор экранига ўхшаган экранига ЭХМ ёзилган, олган ва ишлаб чиқарган ахборот берилади. Ҳар қандай тилда ёзилган хатни, турли жараёнларнинг графикларини, реал нарсаларнинг тасвирини, шунингдек, ЭХМ нинг программасига ёзиб олинган қонунларга бўйсунувчи фаразий объектларни экранда бевосита кўриш мумкин.

Электрон-нур трубкаларида электр ва магнит майдонлар бошқарадиган ингичка электрон дасталари ҳосил қилинади. Бу дасталар осциллограф, телевизорнинг кинескоплари, ЭХМ нинг дисплейларида ишлатилади.

- ! 1. Электрон дасталари қандай бошқарилади? 2. Электрон-нур трубкисининг тузилишини айтиб беринг.

79- §. СУЮҚЛИКЛАРДА ЭЛЕКТР ТОКИ

Қаттиқ жисмлар каби суюқликларнинг ҳам диэлектриги, ўтказгичи ва ярим ўтказгичи бўлади. Диэлектриклар жумласига дистилланган сув, ўтказгичлар жумласига электролитларнинг, яъни кислота, ишқор ва тузларнинг эритмалари киради. Суюқ ярим ўтказгичлар жумласига, масалан, эритилган селен, эритилган сульфидлар киради.

Электролитик диссоциация. Электролитларнинг сувдаги эритмалари нима сабабдан электр токини ўтказиши Х синф аниорганик химия дарслигида баён этилган. Сувнинг қутбли молекулаларининг электр майдони таъсирида электролитлар эриганда электролит молекулалари алоҳида-алоҳида ионларга ажралади. *Бу жараён электролитик диссоциация деб аталади.*

Диссоциация даражаси, яъни эриган модданинг ионларга ажраладиган молекулаларининг улуши эритманинг ҳароратига, концентрациясига ва эритувчининг ϵ диэлектрик сингдирувчанлигига боғлиқ. Ҳарорат кўтарилгани сари диссоциация даражаси ортади ва бинобарин, мусбат ва манфий зарядланган ионлар концентрацияси ортади.

Турли ишорали ионлар учрашганда яна бирикиб нейтрал молекулалар ҳосил қилиши — *рекомбинация* (қўшилиш) жараёни юз бериши ҳам мумкин. Шаронт ўзгармас бўлганда эритмада динамик мувозанат юзага келади, бу ҳолатда бир секунд ичида ионларга ажралувчи молекулалар сони бир секунд ичида қайта бирикиб, нейтрал молекулалар ҳосил қилувчи жуфт ионлар сонига тенг бўлади.

Ионли ўтказувчанлик. Электролитларнинг сувдаги эритмаларида ёки аралашмаларида заряд ташувчилар мусбат ва манфий зарядланган ионлардир.

Агар ичида электролит эритмаси бўлган идиш электр занжирга уланса, манфий ионлар мусбат электродга, яъни анодга томон, мусбат ионлар эса манфий электродга — катодга томон ҳаракатга келади. Натижада электр токи қарор топади. *Электролитларнинг аралашмалари ёки эритмаларида зарядли ионлар ташигани учун бундай ўтказувчанлик ионли ўтказувчанлик деб аталади.*

Суюқликлар электронли ўтказувчанликка ҳам эга бўлиши мумкин. Масалан, суюқ металллар ана шундай ўтказувчанликка эга.

Электролиз. Ионли ўтказувчанликка эга бўлган суюқликларда ток ўтганда модда миқдори кўчирилади. Электролитлар таркибидаги моддалар электродларга ўтиради, яъни ажралади. Манфий зарядли ионлар анодда ўзининг ортикча электронларини беради (бу реакция химияда оксидланиш реакцияси дейилади), мусбат зарядли ионлар катодда етишмай турган электронларни олади (қайтарилиш реакцияси). *Оксидланиш ва қайтарилиш реакциялари туфайли электродларда жорда ажралиб чиқиш жараёни электролиз дейилади.*

Электролизнинг қўлланилиши. Техникада электролиз турли мақсадларда қўлланилади. Бир металлнинг сирти бошқа металлнинг юпка қатлами билан электролитик усулда копланди (никеллаш, хромлаш, мис ялатиш ва ҳоказо). Бу мустаҳкам қоплама металл сиртини занглашдан асрайди.

Электролитик қопламани у ўтирган сиртдан осон кўчадиган қилиш чораларини кўриб (масалан, бунинг учун сиртга графит суркалади) бўртма сиртлардан нусха кўчириш мумкин.

Полиграфия саноатида терилган ҳарфларнинг пластик материалга туширилган нусхасига (матрицага) калингина темир ёки бошқа материал қўйиб, шундай нусхалар (стереотиплар) олинади. Бу ҳол эса терилган асарни керакли миқдордаги нусхада босиб чиқаришга имкон беради. Стереотиплардан фойдаланиш тиражни анча орттиришга имкон беради, ваҳоланки, илгариги вақтларда китобнинг тиражи терилган ҳарфлардан олиниши мумкин бўлган нусхалар сони билан чекланган эди (чунки босишда ҳарфлар ейилади).

Тўғри, ҳозирги вақтда стереотиплар юкори сифатли китоблар босиш учунгина электролиз ёрдамида олинади.

Кўчириб олинандиган қопламалар ҳосил қилиш жараёнини — *гальванопластика* усулини рус олими Б. С. Якоби (1801—1874) ишлаб чиққан. У 1836 йилда Ленинграддаги Исакий собори учун ичи ковак шакллар яшашда бу усулдан фойдаланган.

Металлларни турли аралашмалардан тозалашда ҳам электролиздан фойдаланилади. Масалан, рудадан олинган, ҳали тозаланмаган мис қалин тахталар шаклида қўйилади, сўнгра бу тахталар электролитик ваннага анод сифатида қўйилади. Электролиз вақтида аноддаги мис эрийди, қимматли ва нодир

металлар қатнашган аралашма ваннанинг тубига чўкади, катодда эса тоза мис ажралиб чиқади.

Бокситлар аралашмасидан алюминий электролиз йўли билан олинади. Худди шу усул туфайли алюминий арзон, техника ва турмушда темир билан бир қаторда энг кўп тарқалган металл бўлиб қолади.

Электролитларнинг эритмалари ва аралашмаларида эркин электр зарядлари нейтрал молекулаларнинг ионларга ажралиши ҳисобига пайдо бўлади. Майдон таъсирида ионларнинг ҳаракати модда миқдорининг кўчишини англатади. Бу жараён амалда кенг қўлланилади (электролиз).

- ! 1. Электролитик диссоциация деб нимага айтилади? 2. Нима учун электролит эритмасидан ток ўтганда модда кўчирилади-ю, металл ўтказгичдан ток ўтганда модда кўчирилмайди? 3. Ярим ўтказгичларнинг хусусий ўтказувчанлиги билан электролит эритмаларининг хусусий ўтказувчанлигининг ўхшашлик томони ва фарқи нимадан иборат?

80-§. ЭЛЕКТРОЛИЗ ҚОНУНИ

Электролиз вақтида электродларда модда ажралиши рўй беради. Маълум вақт ичида ажралиб чиққан модданинг массаси нимага боғлиқ? Буни электролиз қонуни аниқлайди.

Равшанки, ажралган модда массаси m битта ионнинг m_{oi} массаси билан электродга Δt вақт ичида келган ионларнинг N_i сони кўпайтмасига тенг:

$$m = m_{oi}N_i. \quad (10.3)$$

1 бобдаги (1.5) формулага асосан ионнинг m_{oi} массаси қуйидагига тенг:

$$m_{oi} = \frac{M}{N_A}, \quad (10.4)$$

бу ерда M — модданинг моляр массаси (ёки атом массаси), N_A — Авогадро доимийси, яъни бир моль моддадаги ионлар сони.

Электродга келган ионлар сони

$$N_i = \frac{\Delta q}{q_{oi}} \quad (10.5)$$

бўлиб, бу ерда $\Delta q = I \Delta t$ — электролит орқали Δt вақт ичида оқиб ўтган заряд, q_{oi} — ионнинг заряди; бу заряд атомнинг n валентлигига боғлиқ: $q_{oi} = ne$ (e — элементар заряд).

Бир валентли атомлардан ($n = 1$) тузилган молекулалар диссоциацияланганда бир зарядли ионлар пайдо бўлади. Масалан, КВг молекуласи диссоциацияланганда K^+ ва Vg^- ионлари пайдо бўлади. Мис купориси диссоциацияланганда икки зарядли Cu^{2+} ва SO_4^{2-} ионлар ҳосил бўлади, чунки бу бирикмада мис атомларининг валентлиги иккига тенг ($n = 2$). (10.3) формулага (10.4) ва (10.5) ифодаларни қўйиб

ва $\Delta q = I \Delta t$, $q_{oi} = ne$ эканлигини ҳисобга олиб, ажралиб чиққан модданинг массасини топамиз:

$$m = \frac{M}{neN_A} I \Delta t. \quad (10.6)$$

Фарадей қонуни. Модданинг m массаси билан $\Delta q = I \Delta t$ заряд ўртасидаги пропорционаллик коэффициентини k билан белгилаймиз:

$$k = \frac{1}{eN_A} \frac{M}{n}; \quad (10.7)$$

k коэффициент модданинг табиатига M ва n нинг қийматларига боғлиқ. У ҳолда

$$m = kI \Delta t. \quad (10.8)$$

Бинобарин, *электр токи ўтганда электродда Δt вақт ичида ажралиб чиққан модданинг массаси ток кучига ва вақтга пропорционалдир.*

Биз назарий йўл билан топган бу хулосани тажрибада биринчи бўлиб Фарадей аниқлаган; бу хулоса *Фарадейнинг электролиз қонуни* дейилади.

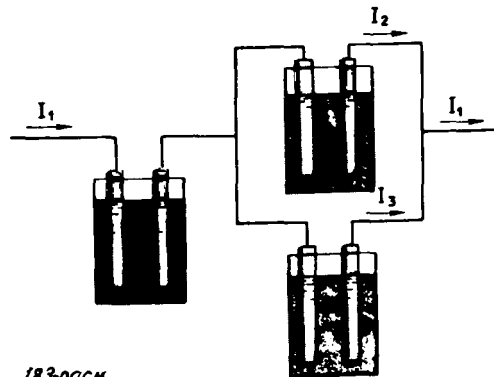
(10.8) формуладан кўринишича k коэффициентнинг сон қиймати ионлар 1 Кл заряд олиб ўтганда электродларда ажралган модданинг массасига тенг. k миқдор *тайинли бир модданинг электрохимиявий эквиваленти деб аталади ва килограмм тақсим кулон (кг/Кл) ҳисобида ифодаланади.*

Электрохимиявий эквивалентнинг физик маъноси жуда оддий.

$\frac{M}{N_A} = m_{oi}$ ва $en = q_{oi}$ бўлгани учун (10.7) формулага асосан, $k = \frac{m_{oi}}{q_{oi}}$ бўлади, яъни ион массасининг зарядига нисбатига тенг.

m ва Δq нинг қийматларини ўлчаб, турли моддаларнинг электрохимиявий эквивалентларини аниқлаш мумкин.

Фарадей қонунининг тўғрилигини тажрибада текшириб кўриш мумкин. 183-расмда кўрсатилгандек қурилма йиғамиз. Учала электролитик ванна аини бир электролит эритмаси билан тўлдирилган, бироқ улардан ҳар хил ток ўтади. Ток кучларини I_1 , I_2 , I_3 билан белгилаймиз. У ҳолда $I_1 = I_2 + I_3$. Турли ванналарнинг электродларида ажралиб чиққан моддаларнинг m_1 , m_2 , m_3 массаларини ўлчаб кўриб, бу мас-



183-расм

салар тегишли I_1, I_2, I_3 ток кучларига мутаносиб (пропорционал) эканлигини кўрамиз.

Электроннинг зарядини аниқлаш. Электродда ажралиб чиққан модда массасининг (10.6) ифодасидан электроннинг зарядини аниқлашда фойдаланиш мумкин. Бу формуладан электрон зарядининг модули

$$e = \frac{M}{mnN_A} I \Delta t \quad (10.9)$$

эканлиги келиб чиқади.

$I \Delta t$ заряд ўтганда электродда ажралиб чиққан модданинг m массасини, M моляр массасини, атомларнинг n валентлигини ва N_A Авогадро доимийсини билган ҳолда электроннинг заряди модулининг қийматини топиш мумкин. Бу қиймат $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Элементар электр заряднинг қиймати биринчи марта 1874 йилда худди мана шу йўл билан топилган эди, лекин Р. Милликен ва А. Ф. Иоффе тажрибаларида элементар заряд анча аниқ ўлчанган.

Электролиз вақтида ажралиб чиққан модда массаси ток кучи билан вақтнинг кўпайтмасига тенг. Электролиз қонуни элементар электр заряднинг қийматини топишга имкон беради.

1. Фарадейнинг электролиз қонунини таърифлаб беринг. 2. Нима учун электролиз вақтида ажралиб чиққан модда массасининг ион массасига нисбати оқиб ўтган заряднинг ионнинг зарядига нисбатига тенг?

81-§. ГАЗЛАРДА ЭЛЕКТР ТОКИ

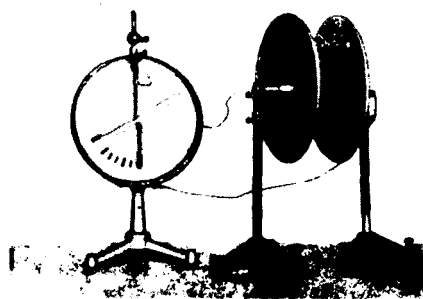
Биз каттиқ ва суюқ жисмларнинг ўтказувчанлигини ва вакуумда ток ўтишини кўриб чиқдик. Газларда ток ўтиши билан танишиш колди.

Газда электр разряди. Ясси конденсаторнинг дисklarига уланган электрометр олиб, уни зарядлаймиз (184-расм). Агар ҳаво етарлича қуруқ бўлса, уй ҳароратида конденсатор сезиларли даражада зарядсизланмайди. Бу эса дисklar орасидаги потенциаллар фарқи туфайли ҳавода ҳосил бўладиган электр токи жуда оз эканини кўрсатади. Бинобарин, уй ҳарорати шароитида ҳавонинг электр ўтказувчанлиги жуда кичик. Ҳавони диэлектрик деб ҳисобласа бўлади.

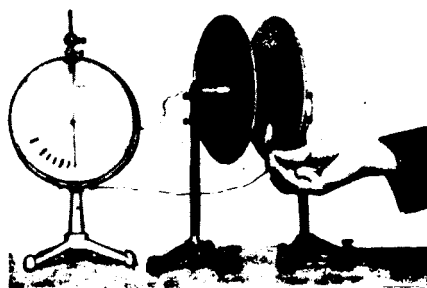
Дисklar орасидаги ҳавони гугурт ёкиб киздирамиз (185-расм). Электрометрнинг стрелкаси тез нолга яқинлашади, демак, конденсатор зарядсизланяпти. Бинобарин, киздирилган газ ўтказгич бўлиб қолади ва унда ток қарор топади.

Газ орқали электр токи ўтиш жараёни газ разряди деб аталади.

Газларнинг ионланиши. Уй ҳарорати шароитида ҳаво ёмон ўтказгич эканини кўриб ўтдик. Қиздирилганда ҳавонинг электр



184-расм



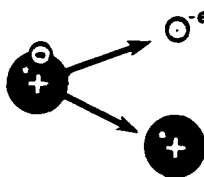
185-расм

ўтказувчанлиги ортади. Ҳавонинг электр ўтказувчанлигини бошқа усуллар билан, масалан, ультрабинафша ва рентген нурлари, радиоактив нурлар таъсир эттириш йўли билан ҳам орттириш мумкин.

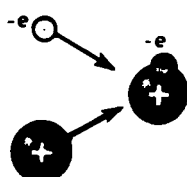
Одатдаги шароитларда газлар бутунлай нейтрал атом ёки молекулалардан иборат бўлади, демак, улар диэлектрик бўлади. Иситиш ёки нурлантириш таъсири натижасида бир қисм атомлар ионланади, яъни мусбат зарядли ионларга ва электронларга ажралади (186- расм). Газда манфий ионлар ҳам ҳосил бўлиши мумкин: бу ионлар электроннинг нейтрал атомларга қўшилишидан ҳосил бўлади. Иситилганда газлар осон ионланишнинг сабаби шундаки, газ қизигани сари молекулалар тезроқ ҳаракатланади. Бунда баъзи молекулалар шунчалик тез ҳаракатланадики, улардан баъзилари бошқаларига тўқнашганида парчаланиб, ионларга айланади. Ҳарорат канчалик юкори бўлса, ионлар шунчалик кўп ҳосил бўлади.

Газларнинг электр ўтказувчанлиги. Газларнинг электр ўтказувчанлигининг моҳияти электролитларнинг аралашмалари ва эритмалари ўтказувчанлигининг моҳиятига ўхшайди. Фарқи шундаки, газларда манфий зарядли электролитларнинг аралашмалари ёки сувдаги эритмаларидаги каби манфий ионлар эмас, балки асосан электронлар ташийд.

Шундай қилиб, газларда металлларда бўладиган электронли ўтказувчанлик билан электролитларнинг аралашмалари ёки сувдаги эритмаларида бўладиган ионли ўтказувчанлик бирга қўшилади. Яна бир муҳим фарқи бор. Электролит эритмаларида ионлар улардаги молекулалар ичидаги боғланишларнинг эритувчи молекулаларининг (сув молекулаларининг) таъсири натижасида заифлашиши туфайли



186-расм



187-расм

ҳосил бўлади. Газларда эса ионлар иситишда ёки ташки ионлаштирувчиларнинг, масалан, нурлар нинг таъсири ҳисобига ҳосил бўлади.

Рекомбинация. Агар ионлантирувчининг таъсири тўхтаса, зарядланган электромметр яна ўз зарядини ўзгартирмай туради. Демак, ионлантирувчининг таъсири тўхтагач газ ўтказгич бўлмай қолади. Ҳамма ион ва электронлар электродларга етиб боргач, ток тўхтайтиди. Ундан ташқари, электрон ва мусбат зарядли ион бир-бирига яқинлашганда қўшилиб кетиб янгидан нейтрал атом ҳосил қилиши мумкин. Бу жараён 187-расмда схематик равишда тасвирланган. Бундай жараён *зарядли зарраларнинг рекомбинацияси* дейилади.

Ташки майдон бўлмаган вақтда зарядли зарралар фақат рекомбинация натижасида йўқолади ва газ диэлектрик бўлиб қолади. Агар ионлантирувчининг таъсири ўзгармас бўлса динамик мувозанат қарор топади; бунда янгидан ҳосил бўлаётган зарядли жуфт зарралар сони рекомбинация натижасида йўқоётган жуфт зарраларнинг ўртача сонига тенг бўлади.

Уй ҳароратида газлар диэлектрик ҳисобланади. Газни иситганда ёки ультрабинафша, рентген ва бошқа нурлар ёғдирилганда газнинг атом ёки молекулалари ионлантирилади. Газ ўтказгич бўлиб қолади.

- ! 1. Электролитларнинг диссоциацияси билан газларнинг ионланиши орасида қандай фарқ бор? 2. Рекомбинация нима? 3. Нима учун ионлантирувчининг таъсири тўхтатилгандан сўнг газ яна диэлектрик бўлиб қолади?

82- §. НОМУСТАҚИЛ ВА МУСТАҚИЛ РАЗРЯДЛАР

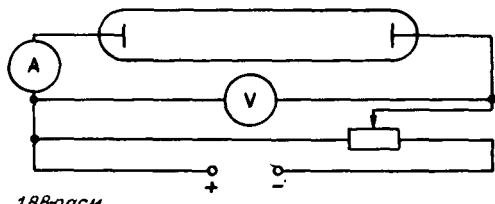
Ташки ионлантирувчининг таъсирисиз ҳам газда разряд бўлаверади. Разряд ўз-ўзини кувватлай олади. Нима учун шундай?

Номустақил разряд. Газларда турли босим шароитида юз берадиган разрядни текшириш учун энг қулайи икки металл электроди бўлган шиша найчадан фойдаланишдир (188-расм).

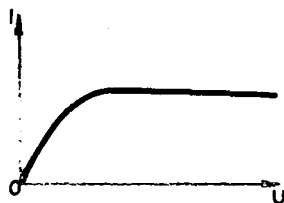
Бирор ионлантирувчи ёрдамида газда ҳар секундда мусбат ион ва электронлардан иборат маълум микдор зарядли зарралар ҳосил қилинаётган бўлсин.

Най электродлари орасида озгина потенциаллар фарқи юзага келганда мусбат зарядли ионлар манфий электродга, электрон ва манфий зарядли ионлар эса мусбат электродга томон кўчади. Натижада *найда электр токи пайдо бўлади, яъни газ разряди юз беради.*

Ҳосил бўлган ионларнинг ҳаммаси ҳам электродларга етиб боравермайди; уларнинг бир қисми электронлар билан қайта қўшилиб нейтрал газ молекулаларини ҳосил қилади. Най электродлари орасидаги потенциаллар фарқи ортган сари электродларга етиб боровчи зарядли зарралар микдори орта боради. Занжирдаги ток кучи ҳам ортади. Ниҳоят, шундай пайт



188-рasm



189-рasm

келадикки, бунда бир секундда газда пайдо бўлган зарядли зарраларнинг ҳаммаси ўша вақт ичида электродларга етиб боради. Бу ҳолда ток ортмай кўяди (189-рasm). Ток туйиниш даражасига етади. Агар ионлантирувчининг таъсири тўхтатилса разряд ҳам тўхтайдди, чунки ион ҳосил қиладиган бошқа манба йўқ. Шу сабабли бу разряд *номустақил разряд* деб аталади.

Мустақил разряд. Агар электродларда потенциаллар фарқи орттираверилса газдаги разрядга нима бўлади?

Потенциаллар фарқи янада орттирилганда ҳам ток кучи ўзгармай қолавериши керакдек туюлади. Лекин гажриба шуни кўрсатадики, электродлар орасидаги потенциаллар фарқи орта бориб бирор кийматга етгандан бошлаб ток кучи яна орта бошлайди (190-рasm). Демак, газда ионлантирувчининг таъсири туфайли ҳосил бўлган ионлардан ташқари яна бошқа қушимча ионлар ҳам пайдо бўлган. Ток кучи бир неча юз ёки бир неча минг марта ортиб кетиши, разряд жараёнида пайдо бўладиган ионлар шу қадар кўпайиб, разряд бўлиб туриши учун ташқи ионлаштирувчи керак бўлмай қолиши мумкин. Агар энди ташқи ионлантирувчи олиб ташланса разряд тўхтаб қолмайди. Бу ҳолда разрядни тўхтатиб қўймаслик учун ташқи ионлантирувчига эҳтиёж йўқлиги сабабли бу разряд *мустақил разряд* деб аталади.

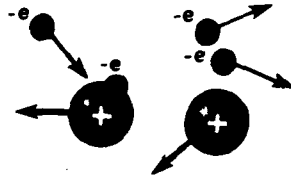
Электрон зарби таъсирида ионланиш. Кучланишлар катта бўлганда ток кучининг кескин ортиб кетиш сабаблари нимада?

Ташқи ионлантирувчи таъсирида ҳосил бўлган бир жуфт зарядли заррани (мусбат ион ва электронни) олиб кўрайлик. Шу тарика юзага келган эркин электрон мусбат электродга, яъни анодга томон ҳаракатга келади, мусбат ион эса катодга томон ҳаракатга келади. Ўз йўлида электрон ионларга ва нейтрал атомларга учрайди. Кетма-кет юз берган иккита тўқнашиш орасида электроннинг энергияси электр майдон кучларининг иши ҳисобига ортади. Электродлар орасидаги потенциаллар фарқи қанчалик катта бўлса, электр майдоннинг кучланганлиги шунчалик катта бўлади. Электроннинг навбатдаги тўқнашиш олдидаги кинетик энергияси майдон кучланганлигига ва электроннинг эркин югуриш (учиш) йўлининг узунлигига (кетма-кет бўлган икки тўқнашиш орасидаги йўлга) пропорционалдир:

$$\frac{mv^2}{2} = eEl. \quad (10.10)$$



190-расм



191-расм

Агар электроннинг кинетик энергияси нейтрал атомни ионлаштириш учун бажарилиши лозим бўлган A ишдан ортиқ бўлса, яъни

$$\frac{mv^2}{2} \geq A_i$$

бўлса, у ҳолда электрон атом билан тўқнашганда уни ионлантиради. Бу жараённинг схемаси 191-расмда тасвирланган. Натижада битта эркин электрон ва атомдан уриб чиқарилган электрон пайдо бўлади. Улар ҳам ўз навбатида майдонда энергия олади ва учраган атомларни ионлантиради ва ҳоказо. *Бунинг натижасида зарядли зарралар сони тез кўпайиб боради, электронлар кўчкиси ҳосил бўлади.* Баён этилган бу жараён электрон зарби таъсирида ионланиш деб аталади. Лекин электрон зарби таъсирида ионланишнинг бир ўзи мустақил разряд бўлиб туришини таъминлай олмайди. Дарҳақиқат, шу йўсинда ҳосил бўлган электронларнинг ҳаммаси анодга томон ҳаракатланади ва анодга етганидан кейин «ўйиндан чиқади», яъни бу жараёнда бошқа қатнашмай қўяди. Разряд бўлиб туришини таъминлаш учун катоддан электронлар эмиссияси юз бериши зарур («эмиссия» сўзи чиқариш маъносини билдиради). Электронлар эмиссияси бир қанча сабаблар туфайли бўлиши мумкин.

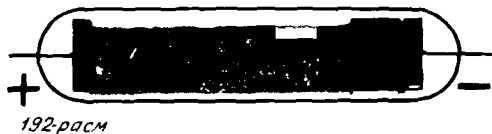
Эркин электронларнинг нейтрал атомлар билан тўқнашишида ҳосил бўлган мусбат ионлар катодга томон ҳаракатланишида майдон таъсирида катта кинетик энергия олади. *Бундай тез ҳаракатланувчи ионларнинг катодга зарб билан урилишида катод сиртидан электронлар уриб чиқарилади.*

Бундан ташқари, катод юқори ҳароратга қадар қиздирилганда ҳам электронлар чиқара олади. Бу жараён термоэлектрон эмиссия 77-§ деб аталади. Мустақил разрядда катод мусбат ионларнинг зарби натижасида қизиши мумкин.

Электр майдонларнинг кучланганлиги катта бўлганда газларда электронлар шунчалик катта энергияга молик бўладики, электрон зарби таъсирида ионланиш жараёни юз беради.

Разряд мустақил бўлиб қолиб, ташқи ионлантирувчисиз ҳам давом этаверади.

- ! 1. Қандай шароитда газларда бўладиган номустақил разряд мустақил разрядга айланади? 2. Нима учун электрон зарби таъсирида ионланиш газда бўладиган разрядни таъминлай олмайди?



83- §. МУСТАҚИЛ РАЗРЯДНИНГ ТУРЛАРИ ВА УЛАРНИНГ ТЕХНИКАДА ТАТБИҚ ЭТИЛИШИ

Газнинг хосса ва ҳолатларига, электродларнинг характери ва жойлашишига, шунингдек, электродларга берилган кучланишга қараб газларда мустақил разряднинг ҳар хил турлари юз беради.

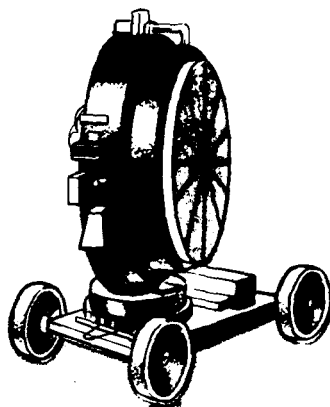
Милтиллама разряд. Босим паст (симоб устуни миллиметрининг ўндан бир ва юздан бир улушларича) бўлганда найда милтиллама разряд юз беради. Милтиллама разряд ҳосил қилиш учун электродлар орасидаги кучланиш бир неча юз вольт (баъзан эса бундан анча кичик бўлиши етарлидир. Милтиллама разрядда катод яқинидаги кичик соҳадан бошқа ҳамма жойда деярли бутун най бир жинсли нурланиш билан тўлган бўлади, бу нурланиш мусбат устун деб аталади (192- расм).

Милтиллама разряд реклама чирокларида қўлланилади. Найга неон гази қамалганда кизил нур чиқади. Мусбат устун аргонда кўкимтир яшил тусда бўлади. Кундузги ёруғлик лампаларида симоб буғларидаги разряддан фойдаланилади. Милтиллама разряднинг жуда муҳим татбиқи яқин кезлардан бошланади — ёруғликнинг квант манбаларида, яъни газли лазерларда ишлатилмоқда.

Электр ёйи. Бир-бирига тегиб турган иккита кўмир стерженнинг бирикиш жойида кўп миқдорда иссиқлик чиқарилади, чунки бу жойнинг қаршилиги катта бўлади. Ҳарорат термоэлектрон эмиссия бошланадиган даражага кўтарилади. Шунинг учун кўмир электродларни бир-биридан ажратишда улар орасида разряд бошланади. Кўмир стержелар орасида кучли ёруғлик берувчи газ устуни (193-расм) ҳосил бўлади; бу устун *электр ёйи* деб аталади. Бу ҳолда газнинг электр ўтказувчанлиги атмосфера босими шаронтида ҳам анча катта бўлади, чунки бунда манфий электрод жуда кўп электрон чиқариб туради.

Кичикроқ ёйда ток кучи бир неча амперга етади, катта ёйларда эса потенциаллар айирмаси атиги 50 В чамасида бўлганда ток кучи бир неча юз амперга етади.

Электр ёйини биринчи бўлиб 1802 йилда рус академиги В. В. Петров ҳосил қилган.



194-расм



195-расм

Катоддаги баланд ҳарорат ёй ёнганда катодни бомбардимон қиладиган мусбат ионлар ҳисобига қувватлаб турилади. Ёйнинг ўзидаги газ майдон томонидан тезлаштирилдиган электронлар ва мусбат ионлар билан тўқнашиш натижасида кучли қизиқ кетади. Бунинг оқибатида газ термик равишда ионланади. Ёйнинг мусбат электродиди электронлар таъсири остида кратер деб аталадиган чуқурча ҳосил бўлади. Кратердаги ҳарорат атмосфера босими шароитида 4000°C га боради, $2 \cdot 10^6$ Па босимда 7000°C дан ортади. Бу ҳароратнинг нақадар юқори эканлигини тасаввур этиш учун бир қиёс келтирамиз: Қуёш сиртидаги ҳарорат тахминан 6000°C .

Электр ёйи фақат кўмир электродлар орасидагина эмас, металл электродлар орасида ҳам ёнади.

Агар милтиллама разрядда ток кучи орттирилса, катоднинг ҳарорати ионларнинг бомбардимон қилиши ҳисобига шунчалик ортиб кетадики, бунда ёй разряди бошланиб кетади. Шундай қилиб, ёй разряди юз бериши учун электродларни олдидан яқинлаштириш шарт эмас.

Электр ёйи жуда қувватли ёруғлик манбаидир, ундан прожекторларда (194-расм), проекцион аппаратларда ва киноаппаратларда фойдаланилади.

Металлургияда электр ёйидан иссиқлик оладиган электр печлари кенг қўлланилади. Ёй разряди металлларни пайванд қилишда ҳам қўлланилади (195-расм).

Мустақил разряднинг бошқа турлари. Электр заряди кўп бўлган ўтказгичнинг учли қисмлари яқинида атмосфера босими шароитида разряд юз беради, унинг ёруғлик берадиган соҳаси тожга ўхшайди (196-расм). *Тож разряд* деб аталган бу разряд зарядли учлик (қирра) яқинидаги электр майдоннинг кучланганлиги катта ($3 \cdot 10^6$ В/м чамасида) бўлганда юз беради.



Майдоннинг кучланганлиги бунчалик катта бўлганда электрон зарби таъсирида ионланиш атмосфера босими шароитида юз беради. Ўтказгич сиртидан узоқлашилгани сари кучланганлик тез камаяди. Шунинг учун ионланиш ва у билан боғлиқ бўлган шуълаланиш фазонинг чегараланган соҳасида юз беради.



197-расм

Зарядланган кора булут ўз остидаги Ер юзида тескари ишорали электр зарядни ҳосил қилади (индукциялайди). Ўткир учли жойларда айниқса катта заряд йиғилади. Шунинг учун момақалдиروқдан олдин ёки кўпинча момақалдируқ бўлаётганда баланд нарсаларнинг ўткир учлари ёки ўткир қирралари яқинида конус шаклида таралган ёруғлик кўринади. Бу ёруғлик қадим замонлардан бери авлиё Элма чироғлари деб келинади.

Альпинистлар бу ҳодисани айниқса кўп кўрадилар. Баъзан металл буюмлар эмас, ҳатто бошидаги сочларнинг учи майда ёруғлик билан безаниб қолади. Юқори кучланиш билан иш кўрганда тож разряддан эҳтиёт бўлиш керак. Ташқарига туртиб чиққан учли қисмлар ёки ингичка симлар бўлса, тож разряд бошланиши мумкин. Бунинг оқибатида электр энергия исроф



198-расм



199-расм

бўлади. Юқори кучланишли линияда кучланиш қанчалик юқори бўлса, симлар шунчалик йўғон бўлиши керак.

Электродлар орасидаги кучланиш катта бўлганда ҳавода учқун разряд вужудга келади; бу разряд ингичка каналдан чикиб тармоқланаётган зигзаг-симон равшан шуғлалар дас-

таси кўринишида бўлади (197-расм). Манбанинг қуввати ёй разряд ёки милтиллама разрядни таъминлаб туришга етарли бўлмаган ҳолларда учқунли разряд вужудга келади. Яшин ниҳоятда катта учқунли разрядга мисол бўлади (198-расм). Яшин булут билан булут ўртасида ёки булут билан Ер ўртасида пайдо бўлади. Яшиндаги ток кучи 500 000 А га, булут билан Ер ўртасидаги потенциаллар фарқи 1 млрд. В га боради. 199-расмда атмосферанинг юқори қатламларининг зарядланган космик зарралар билан бомбардимон қилинадиган ёруғланиш (қутб шафағи) кўрсатилган.

Паст босим шароитида милтиллама разряд бўлади. Атмосфера босими шароитида электр ёйини ҳосил қилиш, тож ва учқун разрядни кузатиш мумкин.

- ! 1. Мустақил разряднинг асосий турларини айтинг. 2. Нима учун электр ёйи паст кучланишларда юз беради-ю, тож разряд жуда юқори кучланишларда юз беради? 3. Учқун разряд деб нимага айтилади?

84-§. ПЛАЗМА

Сиз ҳозир модданинг тўртинчи ҳолати, билан, яъни плазма билан танишасиз. Бу ҳолат қандайдир бир антика ҳолат эмас. Қоинотдаги модданинг кўпчилики қисми плазма ҳолатида бўлади.

Жуда паст ҳароратли шароитда ҳамма моддалар қаттик

ҳолатда бўлади. Иситилганда модда қаттиқ ҳолатдан суюқ ҳолатга, ундан кейин эса газ ҳолатига ҳам ўтади.

Етарлича, юқори ҳароратларда газ тез ҳаракатланаётган атом ёки молекулаларнинг тўқнашуви ҳисобига ионлана бошлайди. Модда *плазма*¹ деб аталадиган янги ҳолатга ўтади. *Плазма қисман ёки тўлиқ ионланган газ бўлиб, унда мусбат ва манфий зарядлар зичлиги амалда бир хил бўлади.* Шундай қилиб, бутунича олиб қаралганда плазма электр жиҳатидан нейтрал системадир. Шароитга қараб, плазманинг ионланиш даражаси, яъни ионланган атомлар сонининг ҳамма атомлар сонига нисбати ҳар хил бўлиши мумкин. Тўлиқ ионланган плазмада нейтрал атомлар йўқ.

Газ ионланиб, плазма ҳосил бўлишига газни қиздиришганда эмас, балки газга турли хил нурлар ёғдириш ёки газ атомларини тез ҳаракатланувчи зарядли зарралар билан бомбардимон қилиш ҳам сабаб бўлади. Бу ҳолда *паст ҳароратли плазма* деб аталадиган плазма ҳосил бўлади.

Плазманинг хоссалари. Плазманинг ўзига хос қатор хоссалари борки, булар уни модданинг махсус тўртинчи ҳолати деб ҳисоблашга имкон беради.

Ҳаракатчанлиги юқори бўлгани сабабли плазманинг зарядли зарралари электр ва магнит майдонлар таъсирида осон кўчади. Шунинг учун плазмадаги айрим соҳаларнинг электр жиҳатдан нейтраллигининг бир хил ишорали зарядлар тўпланиши туфайли бузилиши тез йўқолади. Пайдо бўладиган электр майдонлар зарядли зарраларни электр нейтраллик қайта тикланиб, электр майдон нолга тенг бўлиб қолмагунча кўчириб тураверади.

Нейтрал газ молекулалари ўртасида яқиндан таъсир этувчи кучлар таъсир этади, плазманинг зарядли зарралари орасида эса масофа ортганда қиёсан оз камайдиган Кулон кучлари таъсир этади. Ҳар бир зарра бир вақтнинг ўзида аτροφдаги жуда кўп зарралар билан ўзаро таъсир қилади. Шу туфайли плазманинг зарралари хаотик иссиқлик ҳаракатида қатнашиш билан бирга турли хил тартибланган коллектив ҳаракатларда қатнаша олади. Плазмада турли хил тебранишлар ва тўлқинлар осон ҳосил қилинади.

Плазманинг ионланиш даражаси ортгани сари электр ўтказувчанлиги ортади. Юқори ҳароратда тўлиқ ионланган плазманинг электр ўтказувчанлиги ўта ўтказгичларнинг электр ўтказувчанлигига яқинлашади.

Космик фазодаги плазма. Коинотдаги моддаларнинг кўп қисми (99 % га яқини) плазма ҳолатида бўлади. Ҳарорати

¹ Шакл берилган деган маънони англатувчи грекча *plasma* сўзидан келиб чиққан. Дастлаб бу сўз биологияда қон ва тирик ҳужайраларнинг рангсиз суюқ таркибий қисмларини биддирган. «Плазма» сўзи физикада бошқа маънода ишлатилди.

юқори бўлганидан Қуёш ва бошқа юлдузлар асосан тўлик ионланган плазмадан иборат.

Юлдузлар билан галактикалар орасидаги фазони тўлдирувчи юлдузлараро мухит ҳам плазмадан иборат. Юлдузлар-

аро мухитнинг зичлиги жуда кичик бўлиб, ўрта ҳисобда 1 см³ га биттадан камроқ атом тўғри келади. Юлдузлараро мухитнинг атомларини юлдузлардан чиқаётган нурлар ва космик нурлар ионлантиради; космик нурлар Коинот фазосини ҳамма йўналишда кесиб ўтувчи тез ҳаракатланадиган зарралар оқимидир. Юлдузларнинг иссиқ плазмасидан фарқли ўларок, юлдузлараро плазманинг ҳарорати жуда паст бўлади.

Бизнинг сайёрамиз атрофида ҳам плазма бор. Атмосферанинг 100—300 км баландликдан юқоридаги қатлами ионланган газ бўлиб, *ионосфера* деб аталади. Атмосферанинг юқори қатламларининг ҳавоси асосан Қуёш нурлари ва Қуёш чиқарадиган зарядли зарралар оқими таъсирида ионланади. Ионосферадан юқорида Ернинг радиацион соҳалари ётади, бу соҳаларнинг борлиги сунъий йўлдошлар воситасида кашф этилган. Радиацион соҳалар ҳам плазмадан иборат.

Металлардаги эркин электронлар ҳам плазманинг кўп ҳоссаларига эга. Одатдаги плазмадан фарқли ўларок, қаттиқ жисмлар плазмасида мусбат ионлар бутун жисм бўйлаб кўчиб юра олмайди.

Плазманинг амалда қўлланилиши. Газда бўладиган разряднинг ҳамма турида: милтиллама разряд, ёй разряд, учкун разряд ва ҳоказоларда плазма пайдо бўлади.

Ёруғланувчи реклама ёзувларининг найларида ва кундузги ёруғлик лампаларида милтиллама разряднинг мусбат устунида пайдо бўладиган плазма қўлланилади. Кундузги ёруғлик лампаларида симоб буғларида разряд юз беради. Шиша найга люминофор деб аталадиган махсус модда копланди, плазма нурланишининг таъсирида бу модда ўзи ёруғлик чиқара бошлайди. Чиқарадиган ёруғликнинг таркиби оқ ёруғлик таркибига яқин бўладиган люминофорлар олинади.

Газ-разряд плазмаси кўп асбобларда, масалан, ёруғликнинг квант манбалари бўлмиш газ лазерларида ишлатилади. Лазерлар ёруғликнинг энг қучли манбаларидир. Сиз улар билан XI синфда танишасиз.

Плазма оқими магнитогидродинамик генераторларда (МГД) қўлланилади.

Космик кемаларда қуввати камроқ бўлган плазмали двигателлар ишлатишнинг келажаги порлок.

Яқинда *плазмотрон* деб аталган асбоб яратилди. Плазмотрон-

да зич плазманинг кучли окими ҳосил қилинади, бу окимдан техниканинг турли соҳаларида: металл қирқиш ва пайвандлашда, қаттиқ тоғ жинсларида қудук казишда ва шу каби ишларда фойдаланилади (200-расм). Плазма окимида кўп химиявий реакциялар тезлашади ва одатдаги шароитларда бўлмайдиган реакциялар юз беради.

Физиклар бошқариладиган термоядро реакциялари ҳосил қилиш учун юқори ҳароратли (бир неча ўн миллион градус) плазмадан фойдаланишнинг истиқболлари энг катта деб ҳисобламоқдалар. Ҳозирги вақтда катта энергия чиқарадиган бу реакцияларни амалга ошириш соҳасида жадал тадқиқотлар олиб борилмоқда. Бу улкан масаланинг ҳал қилиниши инсон қўлига амалда битмас-туганмас энергия манбаи беради.

Қисман ёки тўлиқ ионланган газ плазма деб аталади. Юлдузлар плазмадан иборат. Плазмадан техникада фойдаланиш кенгайиб бормоқда: МГД- генераторлар, плазмотронлар, бошқариладиган термоядро реакциялари ва ҳоказо.

! 1. Плазма деб нимага айтилади? 2. Сиз моддани плазма ҳолатида охириги марта қачон кўргансиз? 3. Ер шароитида ва космик фазода қандай жараёнлар ҳисобига плазма ҳосил бўлади?

МАСАЛА ЕЧИШ НАМУНАСИ

Металларда ва электролитларда электр тоқларининг ўтишига оид микдорий қонуниятлар жуда оддийдир. Бу ўтказгичлар бўйсунадиган Ом қонунига оид масалалар VIII бобда берилган эди. Бу бобда асосан электролиз қонунини татбиқ этишга доир масалалар кўриб чиқилади.

Ундан ташқари, баъзи масалаларни ечишда металл ўтказгичлар қаршилиги билан ҳарорат орасидаги муносабатга тааллуқли (10.1) формуладан фойдаланинг.

Мис купороси эритмаси билан тўлдирилган электролитик вазнага радиуси $R = 5$ см бўлган электр ўтказувчи сфера ботирилган. Агар сфера сиртининг ҳар бир квадрат сантиметр юзига ҳар секундда келаётган электр заряд $0,01$ Кл бўлганда мис $t = 30$ мин давомида ажралиб чиқиб турса, сферанинг массаси қанча ортади? Миснинг моляр массаси $M = 0,0635$ кг/моль.

Ечилиши. Сфера сиртининг юзи $S = 4\pi R^2 = 314$ см². Бинобарин, $t = 30$ мин = 1800 с давомида ионлар олиб ўтган заряд $\Delta q = 0,01$ Кл/(см²·с)· 314 см²· 1800 с = 5652 Кл.

Ажралиб чиққан миснинг массаси $m = \frac{M}{\nu e N_A} \Delta q \approx 2 \cdot 10^{-3}$ кг.

12- МАШҚ.

1. Узун симнинг учларига ўзгармас кучланиш бериб турилганда сим қипқизил бўлиб чўғланиб кетди. Симнинг бир қисми совуқ сувга туширилди. Симнинг сувга ботмай қолган қисми янада кучли қизиб кетади. Нимага шундай бўлади?

2. Электр плитканинг спирали куйиб қолди, учларини улагандан сўнг олдингидан биров қисқа бўлди. Плитканинг маълум вақт ичида берадиган иссиқлик миқдори қандай ўзгаради?

3. Электромагнитнинг алюминий чулғами 0°C ҳароратда 5 кВт қувват истеъмол қилади. Агар иш вақтида чулғамнинг ҳарорати 60°C га етса ва кучланиш аввалгича ўзгармасдан қолса, у қандай қувват истеъмол қилади? Агар чулғамдаги ток ўзгармаса нима бўлади?

4. Металл буюмларга рух юритиш учун электролитик ваннага массаси $m=0,01$ кг бўлган рух электрод қўйилган. Электрод бутунлай сарф бўлиши учун ванна орқали қанча заряд ўтиши керак? Рухнинг электрохимиявий эквиваленти $k=3,4 \cdot 10^{-7}$ кг/Кл.

5. Электролитик ваннадан 10 мин давомида кучи 1,6 А бўлган ток ўтиб турганда катодда массаси 0,316 г мис ажралиб чиқди. Миснинг электрохимиявий эквивалентини топинг.

6. Ковак металл буюмнинг ички юзига электролитик усулда металл қоплаш учун электродларни қандай жойлаштириш керак?

7. Детални никеллашда 2 соат давомида ваннадан ўтиб турган токнинг кучи 25 А бўлган. Никелнинг электрохимиявий эквиваленти $3 \cdot 10^{-7}$ кг/Кл, зичлиги $8,9 \cdot 10^3$ кг/м³. Агар деталнинг юзи $0,2$ м² бўлса, никель қатламининг қалинлиги қандай бўлган?

8. Металлда ва вакуумда кучланганлиги \vec{E} бўлган бир жинсли электр майдон ҳосил қилинган. Металлда ва вакуумда электрон айна бир вақтда бир хил йўл босиб ўтадими? Электроннинг бошланғич тезлиги нолга тенг.

9. Анод билан катод орасидаги потенциаллар 500 ва 5000 В бўлганда электронларнинг замбаракдан отилиб чиқиш пайтидаги тезлигини аниқланг.

Х БОБНИНГ ҚИСҚАЧА ЯКУНЛАРИ¹

1. Металлар эркин электронлар туфайли электр ўтказди (электронли ўтказувчанлик).

2. Радиотехникада қаршилиги ҳарорат кўтарилганда камайдиган ва аралашма борлигига кўп даражада боғлиқ бўлган ярим ўтказгичлар кенг қўлланилмоқда. Ярим ўтказгичлар ўтказувчанлигини осоң бошқариш мумкинлиги улардан электр тебранишлари ҳосил қилиш ва бу тебранишларни кучайтиришда ишлатиладиган ярим ўтказгичли диод ва транзисторларда фойдаланишга имкон беради.

3. Вакуумда ток ҳосил қилиш учун вакуум трубаси ичига электронлар манбаи бўлмиш киздирилган катод қўйиш зарур.

4. Электролитларнинг сувдаги эритмалари мусбат ва манфий ионлар туфайли электр ўтказди (ионли ўтказувчанлик).

Ионли ўтказувчанликда ток ўтганда электролитлар таркибидаги моддалар электродларда ажралади (ўтиради). Техникада кенг қўлланиладиган бу жараён электролиз деб аталади.

¹ Олдинги бобларнинг қисқача яқунларига берилган изоҳларга қаранг. Муҳим хулосалар бештага яқин.

Электролиз жараёнида Δt вақтда ажралиб чиққан модданинг массаси $m = \frac{M}{enN_A} I \Delta t$ формула билан ифодаланади, бу ерда M — модданинг моляр массаси, n — валентлик, N_A — Авогадро доимийси, e — электроннинг заряди.

5. Газлар уй ҳароратига яқин ҳароратларда нейтрал молекулалардан иборат бўлиб, диэлектрик ҳисобланади. Қиздирилганда, нурлантирилганда ва бошқа таъсирлар туфайли газлар ионланади. Бу ҳолда газлар ўтказгич бўлиб қолади.

Газлар электрни асосан электронлар ва мусбат ионлар туфайли ўтказишади. Ионлантирувчининг таъсири тўхтатилгандан сўнг тўхтаб қоладиган разряд номустикал разряд деб аталади.

Ионлантирувчининг таъсирисиз ҳам юз берадиган разряд мустикал разряд деб аталади. Мустикал разрядда ионлар ва электронлар электрон зарби билан ионланиш ҳисобига, термоэлектрон эмиссия ҳисобига ва бошқа сабаблар туфайли ҳосил бўлади.

85-§. ЭЛЕКТРОДИНАМИКА ҚОНУНЛАРИНИНГ ТЕХНИК ТАТБИҚЛАРИ

Электродинамиканинг кўпдан-кўп техник татбиқлари биринчи галда электр энергияни симлардан олиш масофаларга узатиш осонлиги, истеъмолчиларга тақсимлаш ва асосан унча мураккаб бўлмаган қурилмалар ёрдамида энергиянинг ҳар қандай бошқа турига: механик энергияга, ички энергияга, ёруғлик энергиясига айлантириш осонлиги туфайли мумкин бўлди.

Электр энергия иссиқлик электр станцияларида, гидроэлектр станцияларида ва атом электр станцияларида ишлаб чиқарилади. Сўнгра у узунлиги юзлаб ва минглаб километр келадиган узатиш линияларидан саноат корхоналарига, электр билан юрадиган транспорт воситаларига, ёритиш учун уйларга шунингдек холодильник, кир ювиш машиналари, электр устара, радиоприёмник, проигриватель, магнитофон ва телевизорлар каби хилма-хил асбобларга берилади.

Биз электродинамика қонунларини билганимиз туфайли арзон электр энергия берадиган электр станцияларини яратиш ва бу энергияни истеъмол қиладиган хилма-хил қурилмаларни қуриш мумкин бўлди. Электромагнит индукция қонунини кашф этиш ва электродинамиканинг XI синфда ўрганиладиган бошқа қонунларини кашф этиш назарияни қутилмаганда ғоят кўп амалий татбиқотларга боғлади.

Электр станцияларида ишлаб турган ҳамма генераторларнинг ишлаши электромагнит индукция қонунига асосланади. Дастлаб М. Фарадей галтак яқинида магнитни ҳаракатлантирганда ғалтакда зўрга сезиладиган ток борлигини пайқайди. «Бундан не фойда?» деб сўрашди ундан. Фарадей «Гўдақдан қандай фойда бўлиши мумкин?», — деб жавоб берди. Ярим асрдан

салгина вақт ўтганда Америка физиги Р. Фейнманнинг таъбири билан айтганда «бефойда гўдак пахлавонга айланиб, Ернинг киефасини шундай ўзгартириб юбордики, унинг мағрур отаси тасаввур этолмайди ҳам».

Оддийгина ғалтак ва магнит ўрнига ҳозирги замон генератори мис симлар, темир, изоляция қиладиган материаллар ва пўлат конструкциялардан иборат салобатли иншоотга айланиб қолди. Генераторларнинг ўлчами бир неча метр келадиган муҳим деталлари миллиметр гача аниқликда тайёрланади. Табиатда ҳеч қаерда ҳаракатланувчи қисмларнинг муқобил жойлашуви йўқки, улар электр энергияни шунчалик муттасил ва тежамли ҳосил қилсин.

Электр станциядан келаётган электр энергия электромагнит индукция ҳодисасига асосланган қурилмалар ёрдамида ўзгартирилади, сўнгра тармоқларга ажратилади. Булар трансформаторлар бўлиб, улар ўзакка қийдирилган икки ғалтакдан ташкил топгандир¹. Бу энергиянинг кўп қисмини прокат станларининг баҳайбат двигателларидан тортиб электр устарада ишлатиладиган жажжи электр двигателларигача истеъмол қилинади. Электр двигателлари ва генераторлар техник томондан мукамал мураккаб қурилмалар бўлиб, улар узок вақт тўхтамасдан жуда тежамли ишлаб туради. Электр двигателларининг ишлаши Ампер қонунига асосланади; бу қонунни билмасдан бундай двигателларни лойиҳалаш ва қуриш мумкин эмас.

Электр энергиянинг талайгина қисми ўтказгичларни қиздиришга сарфланади. Токнинг бу таъсиридан металлургияда, металлларга ишлов беришда, электр билан пайвандлашда ва ҳоказода фойдаланилади. Чўғланма лампаларда электр токи ингичка вольфрам толаларни юқори ҳароратгача қиздиради. Иситиш асбобларини ҳисоб қилишда Жоуль — Ленц қонуни асос қилиб олинади, бу қонун ҳали электр токини амалий мақсадларда кенг ишлатиш одамларнинг хаёлига ҳам келмаган вақтда очилган.

Ток кучини аниқлайдиган Ом қонунини билмасдан туриб электр занжирини ҳисоб қилиш мумкин эмас, бирор электр асбобни тўғри лойиҳалаб ҳам бўлмайди. Ахир, токнинг механик, иссиқлик ва химиявий таъсирлари айнан ток кучига боғлиқдир.

Электр энергияни ишлаб чиқарадиган генераторлар, бу энергияни истеъмол қиладиган қурилмалар жуда тежамкорлик билан ишлаши керак. Ҳеч қандай ортикча исрофларга йўл қўйиш мумкин эмас. Мамлакатимиз миқёсида атиги бир процент электр энергияни исроф қилиш жуда катта зиёндр.

¹ Электр станцияларида ишлаб чиқариладиган ва истеъмолчиларга етиб борадиган электр токи ўзгармас эмас, балки ўзгарувчан тоқдир. Ўзгарувчан ток ХI синфда муфассал ўрганилади.

Электродинамиканинг анча мураккаб ва нозик томонлари радиотехникада товушни ва тасвирни олисга узатишда, тезкор ҳисоблаш машиналарида, ниҳоятда аниқ ва ишончли ишлайдиган автоматик қурilmаларда ишлатилади. Физикани XI синфда ўрганишда булар тўғрисида маълумот берилади.

Ўзгармас ток тортувчи электр двигателларида, транспортда, электрометаллургияда эритиш ва рудани электролиз қилишда, алоқа воситаларини ток билан таъминлашда самарали ишлатилади. Бошқа кўпчилик ҳолларда саноатда ўзгарувчан ток ишлатилади.

ХУЛОСА

Электродинамикани ўрганиш турли муҳитларда электр токи ўтишини кўриб чиқиши билан томон бўлмайди. Биз кўзгалмас электр зарядлари ҳолидаги (ўзгармас электр майдон) ва зарядлар ўзгармас тезлик билан ҳаракат қиладиган ҳолдаги (ўзгармас магнит майдон) электромагнит ҳодисалар билангина танишиб чиқдик. Ўзгарувчан ва тез ўзгарувчан электромагнит ҳодисаларнинг жуда кенг, жуда муҳим бўлган соҳасини ҳозиргача кўриб чиқмадик.

Сиз электродинамиканинг ҳозир ўрганиб олган асосий қонунларига асосан келгусида, XI синфда аввало электромагнит майдоннинг янги асосий хоссалари билан танишасиз. Ўзгарувчан магнит майдон электр майдонни ҳосил қилар экан (электромагнит индукция ҳодисаси). Ўз навбатида ўзгарувчан электр майдон магнит майдонни ҳосил қилар экан (электромагнит индукция ҳодисасига тескари ҳодиса). Бундан сўнг сиз ўзгарувчан электр тоқининг хоссалари, уни қандай қилиб олиш ва кўпдан кўп татбиқлари билан танишасиз. Энг охирида тез ўзгарувчи электромагнит майдонлар ва электромагнит тўлкинларни ўрганишга ўтасиз. Шундагина электродинамикани ўрганиб бўлдиқ дейиш мумкин ва табиатда электромагнит жараёнлар тўлиқ манзарасининг умумий томонларини сиз тўлиқ билиб олган бўласиз.

ЛАБОРАТОРИЯ ИШЛАРИ¹

Мукаддима

Бу мукаддимада айтилган ҳамма маълумотларни эслаб қолиш шарт эмас. Лаборатория ишларини бажаришда Сиз шу маълумотномага мурожаат қиласиз.

1. Ўлчаш хатоси қандай аниқланади.

Лаборатория ишларини бажариш турли хил физик миқдорларни ўлчаш ва кейин уларнинг натижаларини ишлаб чиқишдан иборат.

Ўлчаш — физик катталикнинг қийматини ўлчаш воситалари ёрдамида тажрибада аниқлаш.

Бевосита ўлчаш — физик катталикнинг қийматини ўлчаш воситалари ёрдамида бевосита аниқлаш.

Билвосита ўлчаш — физик катталикнинг қийматини бевосита ўлчаб топиладиган физик катталиклар билан боғловчи формула ёрдамида аниқлаш.

Қуйидаги белгилашлардан фойдаланамиз:

A, B, C ... — физик катталиклар.

A_{такр} — физик катталикнинг тақрибий қиймати, яъни катталикнинг бевосита ёки билвосита ўлчаш йўли билан топилган қиймати.

ΔA — физик катталикни ўлчашнинг абсолют хатоси.

ε — физик катталикни ўлчашнинг нисбий хатоси:

$$\varepsilon = \frac{\Delta A}{A_{\text{такр}}} \cdot 100 \%$$

Δ_a A — асбобнинг абсолют хатоси, асбобнинг конструкциясига боғлиқ (ўлчаш воситасининг хатоси; қ. 1-жадвал).

Δ_o A — санокнинг абсолют хатоси (бу хато ўлчаш воситасининг кўрсатишларини етарлича аниқ ҳисобламаслик натижасида келиб чиқади, бу хато шўпинча бўлим қийматининг ярмига тенг; вақтни ўлчашда санокнинг абсолют хатоси секундомер ёки соатнинг бўлим қийматига тенг.

¹ Лаборатория ишларининг тавсифини Ю. Й. Дик ва Г. Г. Никифоровлар иштирокида А. Б. Долицкий ва А. З. Сняжковлар тузишган.

Ўлчаш воситаларининг абсолют хатолари

Тартиб сони	Ўлчаш воситалари	Ўлчаш чега-раси	Бўлим қиймати	Асбобнинг абсолют хатоси
1	Чизғич ўқувчилар чизғичи	50 см гача	1 мм	± 1 мм
	чизмакашпик чизғичи	50 см гача	1 мм	$\pm 0,2$ мм
2	асбоб сифатида ишлатиладиган пулат чизғич	20 см гача	1 мм	$\pm 0,1$ мм
	демонстрацион чизғич	100 см	1 см	$\pm 0,5$ см
	Ўлчов лентаси	150 см	0,5 см	$\pm 0,5$ см
3	Ўлчов цилиндри	250 мл гача	1 мл	± 1 мл
4	Штангенциркуль	150 мм	0,1 мм	$\pm 0,05$ мм
5	Микрометр	25 мм	0,01 мм	$\pm 0,005$ мм
6	Ўқув динамометри	4 Н	0,1 Н	$\pm 0,05$ Н
7	Ўқув тарозиси	200 г	—	$\pm 0,01$ г
8	Секундомер	0—30 мин	0,2 с	30 мин да ∓ 1 с
9	Анероид- барометр	720—780 мм см. уст.	1 мм смм. уст.	± 3 мм смм. уст.
10	Лаборатория термометри	0—100°C	1°C	± 1 °C
11	Мактаб амперметри	2 А	0,1 А	$\pm 0,05$ А
12	Мактаб вольтметри	6 В	0,2 В	$\pm 0,15$ В

Бевосита ўлчашларнинг максимал абсолют хатоси асбобнинг абсолют хатоси ва бошқа хатолар бўлмаган ҳолдаги абсолют санок хатосидан иборат: $\Delta A = \Delta_a A + \Delta_o A$.

Ўлчашнинг абсолют хатоси одатда битта қийматли рақамгача яхлитланади ($\Delta A \approx 0,17 = 0,2$); ўлчаш натижасининг сон қиймати шундай яхлитланадики, унинг охири рақами хатонинг рақами турган хонада бўлсин ($A = 10,332 \approx 10,3$).

А физик катталикнинг бир хил шароитда ва етарлича сезгир ва аниқ (хатолиги кичик) бўлган ўлчаш воситаларидан фойдаланиб такрор ўлчашлар натижалари ҳамма вақт бир-биридан фаркли бўлиб чиқади.

Бу ҳолда $A_{\text{такр}}$ барча ўлчашларнинг ўртача арифметик қиймати каби топилади, ΔA эса (бу ҳолда у тасодифий хато дейилади) математик статистика усуллари билан аниқланади.

Мактаб лабораторияси практикасида бундай ўлчаш воситалари амалда ишлатилмайди. Шунинг учун лаборатория ишларини бажаришда физик катталикларни ўлчашнинг максимал хатосини аниқлаш зарур. Бунда натижани олиш учун битта ўлчашнинг ўзи етарли.

Билвосита ўлчашларнинг нисбий хатоси 2-жадвалда кўрсатилганича аниқланади.

Билвосита ўлчашнинг нисбий хатосини топиш формуллари

Тартиб сон	Физик катталикнинг формуласи	Нисбий хато формуласи
1	$A = BCD$	$\epsilon = \frac{\Delta B}{B} + \frac{\Delta C}{C} + \frac{\Delta D}{D}$
2	$A = \frac{B}{CD}$	$\epsilon = \frac{\Delta B + \Delta C}{B + C}$
3	$A = B + C$	$\epsilon = \frac{\Delta B}{B} + \frac{1}{2} \frac{\Delta C}{C} + \frac{1}{2} \frac{\Delta D}{D}$
4	$A = B \sqrt{\frac{C}{D}}$	

Билвосита ўлчашларнинг абсолют хатоси $\Delta A = A_{\text{такр}}$ ϵ формуладан аниқланади (ϵ ўнли каср билан ифодаланади).

2. Электр ўлчов асбобларининг аниқлик синфи тўғрисида

Асбобнинг абсолют хатосини билиш учун унинг *аниқлик синфи*ни билиш керак. Ўлчаш асбобининг $\gamma_{\text{ас}}$ аниқлик синфи асбобнинг абсолют хатоси $\Delta_a A$ асбобнинг бутун (A_{max}) шкаласининг қанча процентини ташкил қилишини билдиради:

$$\gamma_{\text{ас}} = \frac{\Delta_a A}{A_{\text{max}}} \cdot 100\%$$

Аниқлик синфи асбобнинг шкаласида ёки паспортида кўрсатилади (бунда % ёзилмайди). Электр ўлчов асбобларининг қуйидаги синфлари бор: 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5; 4. Асбобнинг аниқлик синфини ($\gamma_{\text{ас}}$) ва унинг бутун шкаласини билган ҳолда A физик катталикни ўлчашдаги абсолют хато $\Delta_a A$ ни аниқлаш мумкин:

$$\Delta_a A = \frac{\gamma_{\text{ас}} A_{\text{max}}}{100}$$

3. Ўлчаш натижалари қандай қилиб солиштирилади.

1. Ўлчаш натижаларини қўч тенгсизлик кўринишида ёзинг:

$$\begin{aligned} A_{1\text{такр}} - \Delta A_1 &< A_{1\text{такр}} < A_{1\text{такр}} + \Delta A_1, \\ A_{2\text{такр}} - \Delta A_2 &< A_{2\text{такр}} < A_{2\text{такр}} + \Delta A_2. \end{aligned}$$

2. Қийматларнинг топилган оралиғини солиштиринг (201-расм); агар оралиқлар бир-бирининг устига тушмаса натижалар бир хил бўлмайди; агар оралиқлар устма-уст тушса, ўлчашнинг нисбий хатоси мана шундай бўлганда натижалар бир хил бўлади.

4. Бажарилган иш тўғрисида ҳисобот қандай қилиб расмийлаштирилади

1. . . . -лаборатория иши.

2. Ишнинг номи.
3. Ишнинг мақсади.
4. Чизма (агар талаб бўлса).
5. Изланаётган микдорларнинг ва уларнинг хатоларининг формулалари.
6. Ўлчаш ва ҳисоблаш натижаларининг жадвали.
7. Охириги натижа, хулоса ва бошқалар (ишнинг мақсадига мувофиқ).
5. Ўлчаш натижаси қандай ёзилади

$$A = A_{\text{так}} \pm \Delta A, \varepsilon = \dots \%$$

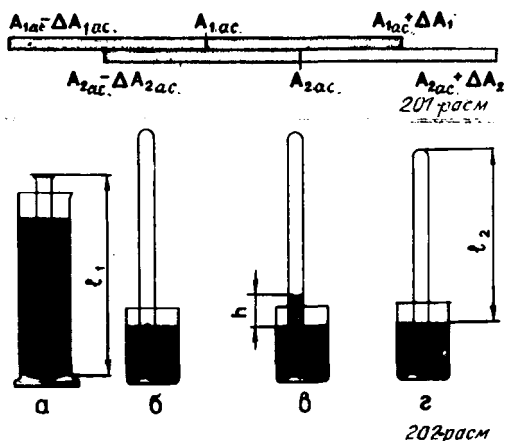
1-иш. Гей-Люссак қонунини тажрибада текшириш

Жиҳозлар, зарур ўлчашлар, ўлчаш воситалари

Ишни бажариш учун зарур бўлган жиҳозлар 202-расмда кўрсатилган: бир томони кавшарланган, узунлиги 600 мм ва диаметри 8-10 мм бўлган шиша най, баландлиги 600 мм, диаметри 40-50 мм бўлган цилиндр шаклидаги иссиқ сув куйилган идиш ($t \approx 60^\circ\text{C}$); уй ҳароратидаги сув куйилган стакан; пластилин.

Гей-Люссак қонунини текшириш учун газнинг ўзгармас босим шароитидаги икки ҳолатида ҳажми ва ҳароратини ўлчаб, $\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$ тенгликнинг тўғрилигини текшириш етарли. Бунинг учун атмосфера босими шароитидаги ҳавони олиш мумкин.

Шиша найнинг очиқ оғзини юқорига қилиб цилиндрик идишдаги иссиқ сувга 3—5 минут ботириб олинг (202, а-расм). Бу ҳолда ҳавонинг ҳажми шиша найнинг ҳажмига тенг, ҳавонинг ҳарорати иссиқ сувнинг T_1 ҳароратига тенг. Бу — биринчи ҳолат. Ҳаво галдаги ҳолатга ўтганда микдори ўзгармаслиги учун шиша найнинг иссиқ сувда турган очиқ оғзига пластилин тиқиб қўйилади. Бундан сўнгра найни иссиқ сувли идишдан чиқариб олинади ва оғзи ёпиқ томонини уй ҳароратидаги сувга тез туширилади (202, б-расм), кейин эса сувнинг ичида пластилин олинади. Ҳаво совигани сари найда сув кўтарилади. Найда сувнинг кўтарилиши тўхтагач (202, в-расм), найдаги ҳавонинг ҳажми $V_2 < V_1$ бўлади, босими эса $p = p_{\text{атм}} - \rho gh$. Найдаги ҳавонинг босими яна атмосфера босимига тенглашиб қолиши учун найнинг стакан-



га ботиш чуқурлигини найдаги ва стакандаги сув сатҳлари тенглаш-гунча (202, 2-расм) орттириб борамиз. Бу ҳолат найдаги ҳавонинг атрофдаги ҳаво ҳарорати T_2 бўлгандаги ҳолатидир. Агар найнинг кесими бошдан охиригача бир хил бўлса, найдаги ҳавонинг биринчи ва иккинчи ҳолатдаги ҳажмлари нисбатини найнинг бу ҳолатларда-ги ҳаво устунининг баландликлари нисбати билан алмаштирамиз $\frac{V_1}{V_2} = \frac{Sl_1}{Sl_2} = \frac{l_1}{l_2}$. Шунинг учун, бу ишда l_1/l_2 ва T_1/T_2 нисбатларни солиштириш керак. Ҳаво устунининг баландлиги чизғич билан, ҳа-рорат термометр билан ўлчанади.

Тажрибани ўтказишга тайёргарлик кўриш.

1. Ўлчаш ва ҳисоблаш натижалари ёзиладиган жадвалли ҳисобот бланкясини тайёрлаб қўйинг (асбоб хатоликлари 1-жадвалдан топи-лади).

Ўлчанган				Ҳисобланган													
l_1 , мм	l_2 , мм	t_1 , °C	t_2 , °C	Δ_{a1} , мм	Δ_{a2} , мм	Δl , мм	T_1 , К	T_2 , К	Δ_{aT} , К	Δ_{aT} , К	ΔT , К	$\frac{l_1}{l_2}$	ε_1 , %	Δ_1	$\frac{T_1}{T_2}$	ε_2 , %	Δ_2

2. Уй ҳароратидаги сув солинган стакан ва иссиқ сув солинган идиш тайёрланг.

Тажриба ўтказиш ва ўлчаш натижаларини шиллаб чиқиш

1. Шиша найнинг l_1 узунлигини ва цилиндрик идишдаги сувнинг ҳароратини ўлчанг.

2. Найдаги ҳавони юқорида айтилгандек қилиб иккинчи ҳолатга келтиринг. Найдаги ҳаво устунининг l_2 узунлигини ва атрофдаги ҳа-вонинг T_2 температурасини ўлчанг.

3. $\frac{l_1}{l_2}$ ва $\frac{T_1}{T_2}$ нисбатларни ҳисобланг, бу нисбатларнинг нисбий (ε_1 ва ε_2) ва абсолют (Δ_1 ва Δ_2) хатоларини

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta l}{l_1} + \frac{\Delta l}{l_2}, \quad \Delta_1 = \frac{l_1}{l_2} \varepsilon_1;$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\Delta T}{T_1} + \frac{\Delta T}{T_2}, \quad \Delta_2 = \frac{T_1}{T_2} \varepsilon_2.$$

формулалар бўйича ҳисобланг.

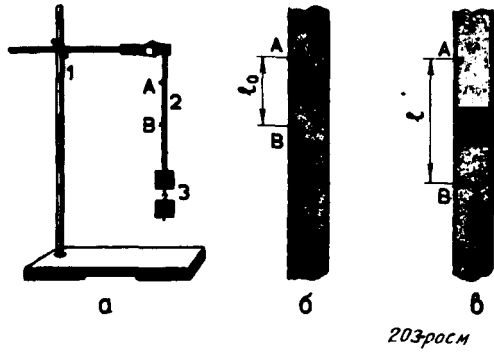
4. $\frac{l_1}{l_2}$ ва $\frac{T_1}{T_2}$ нисбатларни солиштиринг (лаборатория ишларига берилган муқаддиманинг 3-бандига ва 201-расмга қаранг).

5. Гей-Люссак қонунининг тўғрилиги тўғрисида хулоса чиқаринг.

Текшириш саволлари

1. Нима учун ичида уй хароратидаги суви бор стаканга шиша най бо-тирилгандан ва пластилин тиқин олингандан кейин найдаги сув кўтарилади?

2: Нима учун стакандаги ва найдаги сув сатҳлари бир хил бўлгандан найдаги сув босими атмосфера босимига тенг бўлади?



203-расм

2-иш. Резинанинг эластиклик модулини (Юнг модулини) ўлчаш

Жиҳозлар, зарур ўлчашлар, ўлчаш воситалари

Резинанинг Юнг модулини ўлчашда ишлатиладиган курилма 203-а расмда кўрсатилган, бу ерда 1- муфтаси ва панжаси бор штатив, 2- резина шнур (болалар ўйнайдиган), 3- юклар.

$$E = \frac{Fl_0}{S(l-l_0)}$$

формуладан ҳисоблаб топилади (бу формула Гук қонунидан келтириб чиқарилади (21-§)). Бу формулада E — Юнг модули, F — чўзилган шнурда пайдо бўладиган эластиклик кучи, бу куч шнурга бириктирилган юкларнинг оғирлигига тенг; S — деформацияланган шнурнинг кўндаланг кесим юзи; l_0 — чўзилмаган шнурдаги A ва B тамғалар орасидаги масофа (203, б-расм), l — чўзилган шнурдаги ўша тамғалар орасидаги масофа (203, в-расм). Агар шнурнинг кўндаланг кесими доира шаклида бўлса, кесим юзи диаметр орқали

$$S = \frac{\pi D^2}{4}$$

кўринишда ифодаланади. Ниҳоят, Юнг модули аниқланадиган формула

$$E_{\text{такр}} = \frac{4Fl_0}{\pi D^2(l-l_0)}$$

кўринишида бўлади. Юкларнинг оғирлиги динамометр билан, шнурнинг диаметри штангенциркуль билан, A ва B тамғалар орасидаги масофа чизғич билан аниқланади. Юнг модулини ўлчашнинг нисбий ва абсолют хатолари

$$\varepsilon = \frac{\Delta F}{F} + \frac{\Delta l_0}{l} + 2 \frac{\Delta D}{D} + 2 \frac{\Delta l}{l-l_0}, \Delta E = E_{\text{такр}} \varepsilon.$$

формулар билан аниқланади. $\pi = 3,14$ нинг хатосини эътиборга олмаса бўлади.

Тажрибани ўтказишга тайёргарлик кўриши

1. Ўлчаш ва ҳисоблаш натижалари ёзиладиган жадвалли ҳисобот бланкини тайёрлаб кўйинг (асбоб хатолари I- жадвалдан топилади)

Ўлчанган				Ҳисобланган											
I_0	I	D	F	$\Delta_0 I$	$\Delta_0 I$	ΔI	Δ_a	$\Delta_0 D$	ΔD	$\Delta_a F$	$\Delta_0 F$	ΔF	E	ε	ΔE
м	м	м	Н	м	м	м	м	м	м	Н	Н	Н	Па	%	Па

2. Тажриба қурилмасини йиғинг.

3. Резина шнурга калам билан тамға кўйинг.

Тажрибани ўтказиш, ўлчаш натижаларини ишлаб чиқиш

1. Чўзилмаган шнурдаги A ва B тамғалар орасидаги масофани ўлчанг.

2. Юкларнинг умумий оғирлигини олдин ўлчаб олиб, юкларни шнурнинг пастки учига осинг. Шнурдаги тамғалар орасидаги масофани ва чўзилган шнурнинг диаметрини ўлчанг.

3. Резинанинг Юнг модулини ҳисоблаб топинг; Юнг модулини ўлчашдаги нисбий ва абсолют хатони топинг.

4. Олинган натижани ёзинг: $E = E_{\text{такр}} \pm \Delta E$, $\varepsilon = \dots \%$.

Бу натижани жадвалдаги билан солиштиринг.

Текшириш саволи

Нима учун Юнг модули шунчалик катта сон билан ифодаланди?

3- иш. Ток манбаининг ЭЮК ва ички қаршилигини ўлчаш

Жиҳозлар, зарур ўлчашлар, ўлчаш воситалари

Бу ишда ишлатиладиган электр занжирнинг схемаси 204- расмда кўрсатилган. Схепада ток манбаи сифатида аккумулятор ёки чўнтак фонариннинг батареячаси ишлатилади.

Калит узук бўлганда ток манбаининг ЭЮК ташқи занжирнинг кучланишига тенг (қ. 59- §). Тажрибада ток манбаи вольтмерга қўшиб қўйилган, бунинг қаршилиги ток манбаининг ички r қаршилигидан жуда катта бўлиши керак. Одатда ток манбаининг ички қаршилиги жуда кичик бўлади, шунинг учун кучланишни шкаласи 0—6 В ва қаршилиги $R_b = 900 \text{ Ом}$ (шкала остидаги ёзувга қаранг) бўлган мактаб вольтметри билан ўлчаш мумкин. Ток манбаининг қаршилиги жуда кичик бўлгани учун, ҳақиқатан ҳам $R_b \gg r$. Бу ҳолда ε нинг U дан фарқи фоизнинг ўндан бир улушидан ортмайди, шунинг учун ЭЮК ни ўлчаш хатоси қучланишни ўлчаш хатосига тенг.

Ток манбаининг ички қаршилигини билвосита ўлчаш мумкин, бунинг учун амперметр ва вольтметрнинг калит ёпиқ ҳолдаги кўрсатишларини қайд қилиш керак. Ҳақиқатан, берк занжир учун Ом

қонундан (қ. 59-§) $\mathcal{E} = U + Ir$ эканини топамиз, бу ерда $U = IR$ ташқи занжирнинг кучланиши.

Шунинг учун $r_{\text{такр}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{такр}} - U_{\text{такр}}}{I_{\text{такр}}}$. Занжирдаги

ток кучини шкаласи 0 — 2А бўлган мактаб амперметри

билан ўлчаш мумкин. Ток манбаининг ички қаршилигини ўлчашдаги максимал хатолар қуйидаги формулалардан аниқланади:

$$\varepsilon_r = \frac{\Delta \mathcal{E} + \Delta U}{\mathcal{E}_{\text{такр}} - U_{\text{такр}}} + \frac{\Delta I}{I_{\text{такр}}},$$

$$\Delta r = r_{\text{такр}} \varepsilon_r$$

Тажрибани ўтказишга тайёргарлик кўриш

1. Ўлчаш ва ҳисоблаш натижалари ёзиладиган электр занжирнинг схемаси чизилган ва жадвал ёзилган бланкани тайёрланг.

№	Ўлчанган			Ҳисобланган											
	$U_{\text{такр}}$ В	$I_{\text{такр}}$ А	$\mathcal{E}_{\text{такр}}$ В	$\Delta_a U$ В	$\Delta_b U$ В	ΔU В	ε_U %	$\varepsilon_{\mathcal{E}}$ %	$r_{\text{такр}}$ Ом	$\Delta_a I$ А	$\Delta_b I$ А	ΔI А	ε_I %	ε_r %	Δr Ом
\mathcal{E} ни ўлчаш															
r ни ўлчаш															

2. 204-расмга қараб электр занжирни йиғинг. Контактларнинг ишончилигини, амперметр ва вольтметрнинг тўғри уланганини текшириб кўринг.

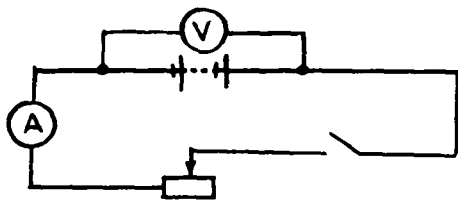
3. Қалит очиқ ва берк бўлган ҳолларда занжирнинг ишлашини текшириб кўринг.

Тажриба ўтказиш, ўлчаш натижаларини ишлаб чиқиш

1. Ток манбаининг ЭЮК ни ўлчанг.

2. Қалит ёпиқ бўлган ҳолда амперметр ва вольтметр кўрсатишларини қайд қилиб, $r_{\text{такр}}$ ни ҳисоблаб топинг. Асбобларнинг аниқлик синфидан фойдаланиб, ток манбаининг ЭЮК ва ички қаршилигини ўлчашдаги нисбий ва абсолют хатоларни ҳисоблаб топинг.

3. Ток манбаининг ЭЮК ва ички қаршилигини ўлчаш натижаларини ёзиб қўйинг:



204-РАСМ

$$\delta = \delta_{\text{ТАҚД}} \pm \Delta\delta, \varepsilon_{\delta} = \dots \%;$$

$$r = r_{\text{ТАҚД}} \pm \Delta r, \varepsilon_r = \dots \%.$$

Текшириш саволлари

1. Нима учун калит узук ва берк бўлган ҳолларда вольтметрнинг кўрсатишлари ҳар хил?

2. Ток манбаининг ЭЮК ни ўлчаш аниқлигини қандай қилиб орттириш мумкин?

3. Сиз ток манбаининг ЭЮК ва ички қаршилигини ўлчашнинг бошқа усулларини таклиф қила оласизми?

4-иш. Ўтказгичнинг солиштирма қаршилигини ўлчаш

Жихозлар, зарур ўлчашлар, ўлчаш воситалари

Ишни бажариш учун солиштирма қаршилиги катта бўлган материалдан ясалган сим зарур.

Ўтказгич материалининг солиштирма қаршилигини қуйидаги формулалардан фойдаланиб ҳисоблаш мумкин:

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad S = \frac{\pi d^2}{4},$$

бу ерда d — симнинг диаметри.

Ўтказгичнинг қаршилигини Ом қонунидан фойдаланиб ўлчаш мумкин. Бу ҳолда солиштирма қаршилиқни ҳисоблаш формуласи

$$\rho = \frac{\pi R d^2}{4l} \quad \text{ёки} \quad \rho = \frac{\pi U d^2}{4Il}$$

кўринишда бўлади. Зарур жихозлар ва ўлчаш воситаларини ўзингиз мустақил танланг.

Тажрибани ўтказишга тайёргарлик кўриш

1. Ўлчаш ва ҳисоблаш натижалари ёзиладиган жадвални бланкни тайёрланг (олдинги ишларга қараб жадвални ўзингиз тузинг).

2. Зарур занжирни йиғинг, контактларнинг ишончлилигини ва ўлчов асбобларининг тўғри уланганлигини текшириб кўринг.

Тажрибани ўтказиш, ўлчаш натижаларини ишлаш

1. Ўтказгичнинг узунлигини, диаметрини, ўтказгичдаги ток кучи ва учларидаги кучланишни ўлчанг.

2. Ўтказгичнинг солиштирма қаршилигининг тахминий қийматини ҳисоблаб топинг.

3. Ўлчов асбобларининг хатоларини ва саноқ хатосини аниқланг. U, d, I, l миқдорларни ўлчашнинг максимал абсолют ва нисбий хатоларини ҳисоблаб топинг. $\pi \approx 3,14$ нинг хатосини ҳисобга олманг.

Ўтказгичнинг солиштирма қаршилигини ўлчашнинг максимал абсолют ва нисбий хатоларини ҳисоблаб топинг.

4. Ўтказгичнинг солиштирма қаршилигини ўлчаш натижасини $\rho = \rho_{\text{тақр}} \pm \Delta\rho$, $\varepsilon = \dots$ % кўринишида ёзинг.

Жадвалга қараб ўтказгичнинг материални аниқланг.

Текшириш саволи

Нима учун иситиш элементлари солиштирма қаршилиги катта бўлган ўтказгичлардан, ток келтирувчи ўтказгичлар эса солиштирма қаршилиги жуда кичик бўлган ўтказгичлардан тайёрланади?

5-иш. Ўтказгичларни кетма-кет ва параллел улашни ўрганиш

Ишда, қуйидаги қонунларни текшириб кўриш керак:

1. Ўтказгичлар кетма-кет уланганда:

$$U = U_1 + U_2, R = R_1 + R_2, \frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}.$$

2. Ўтказгичлар параллел уланганда:

$$I = I_1 + I_2, \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}, \frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}.$$

Жиҳозлар, зарур ўлчашлар, ўлчаш воситалари

Ишда ток манбаи, симдан тайёрланган иккита резистор, амперметр ва вольтметр ишлатилади. Занжирдаги ток кучини реостат билан растлаш мумкин. Ўлчашни ўтказишда вольтметр ва амперметрни занжирнинг керакли нукталарига галма-галдан уланади. Хатоларни ҳисобламаса ҳам бўлади.

Тажрибани ўтказишга тайёргарлик кўриш

Ўлчаш ва ҳисоблаш натижалари ёзиладиган электр занжирлар схемаси чизилган жадвалли бланкни тайёрланг (олдинги ишларга қараб жадвалларни ўзингиз тузинг).

Тажрибани ўтказиш, ўлчаш натижаларини ишлаш

1. Резисторларни кетма-кет улашни ўрганиш учун тузилган занжирни йиғинг; ток кучи ва кучланишни ўлчанг; кетма-кет улаш қонунлари бажарилишини текшириб кўринг; хулоса чиқаринг.

2. Резисторларни параллел улашни ўрганиш учун тузилган занжирни йиғинг; тоқлар ва кучланишни ўлчанг; параллел улаш қонунлари бажарилишини текшириб кўринг, хулоса чиқаринг.

Текшириш саволлари

1. Хонадонларда электр энергия истеъмолчилари қандай уланади? Нимага шундай уланган?

2. Арчани безатиш учун мўлжалланган лампочкалар шодаси ўзаро қандай уланган? Нима сабабдан шундай уланган?

6-иш. Магнит майдоннинг токка кўрсатадиган таъсирини кузатиш

Жиҳозлар:

Сим чўлғами, штатив, ўзгармас ток манбаи, реостат, калит, уловчи симлар, тақасимон магнит.

Тажрибани ўтказишга тайёргарлик кўриш

Сим чўлғамни штативга осинг, уни ток манбаига реостат ва калит билан кетма-кет қилиб уланг. Қалит узоқ бўлиши керак, реостатнинг жилгичи қаршилиқ энг катта бўладиган қилиб кўйилади.

Тажрибани ўтказиш

1. Осифлик турган чулғамга магнитни яқин келтириб, калитни уланг ва чулғамнинг ҳаракатини кузатинг.

2. Чулғам билан магнитнинг бир-бирига нисбатан жойлашишларининг бир неча вариантини танлаб олиб, буларнинг расмини чизинг, бунда магнит майдоннинг йўналишини, ток йўналишини ва чулғамнинг магнитга нисбатан ҳаракат йўналишини кўрсатинг.

3. Чулғам ҳаракатининг характери ва йўналиши тўғрисидаги тахминларингиз тўғрилигини тажрибада текшириб кўринг.

7-иш. Электроннинг зарядини аниқлаш

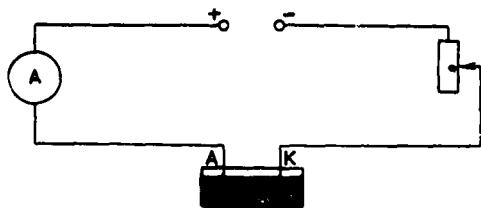
Жиҳозлар, зарур ўлчашлар, ўлчаш воситалари

Ўлчаш қурилмасининг схемаси 205-расмда кўрсатилган. Тажрибани ўтказиш учун мис сульфатнинг (CuSO_4) сувдаги эритмасидан фойдаланиш мумкин, электродлар сифатида мис пластиналар олинади.

Электроннинг заряди

$$e = \frac{M}{mnN_A} I \Delta t,$$

формуладан аниқланиши мумкин. Бу формула Фарадейнинг электролизга оид қонунидан келтириб чиқарилган (қ. 80-§). Формуладаги m — электродда ажралиб чиққан (ўтирган) модда массаси, M — модданинг моляр массаси, n — бу модданинг валенти, N_A — Авогадро доимийси, I — электролит эритмасидан ўтган ток кучи, Δt — токнинг



205-расм

ўтиб туриш вақти. Катодда ажралган модданинг массаси катодни тажрибадан олдин ва кейин тарозида тортиш йўли билан аниқланади (мас равишда m_1 ва m_2). Шунинг учун $m = m_2 - m_1$ бўлиб, электроннинг зарядини аниқлаш формуласи

$$e_{\text{такр}} = \frac{M}{(m_2 - m_1)nN_A} I \Delta t$$

кўринишга келади.

Ток кучи мактаб амперметри (шкаласи 0—2 А, аниқлик синфи 2,5) билан ўлчанади, вақт соат билан ўлчанади (секундли стрелкаси бор ёки электрон соат). Занжирдаги реостат ток кучини ростлайди.

Электроннинг зарядини ўлчашнинг энг катта нисбий ва абсолют хатолари куйидаги формулалардан аниқланади:

$$e_e = \frac{2\Delta m}{m_2 - m_1} + \frac{\Delta I}{I} + \frac{\Delta t}{t}, \quad \Delta e = e_{\text{такр}} e_e.$$

Тажрибани ўтказишга тайёргарлик кўриш

1. Электр занжир схемаси, ўлчаш ва ҳисоблаш натижалари ёзиладиган жадвалли ҳисобот бланкини тайёрлаб қўйинг.

2. Катодни анод билан алмаштириб юбормаслик учун унинг юқори қисмига тамға босиб, катодни тарозидан тортинг. Электродларни тутқишларга маҳкамлаб, эритма солинган банкага электродларни ботирмасдан олдин 205-расмга қараб электр занжирни йиғинг. Электр контактларнинг ишончилигини, электродларнинг ток манбаига тўғри уланганлигини, амперметрнинг тўғри уланганлигини текшириб чикинг.

Тажрибани ўтказиш, ўлчаш натижаларини ишлаш

1. Электродларни эритмали банкага ботиринг, калитни туташтиринг, занжирдаги ток кучини реостат ёрдамида 1 А дан ортик бўлмайдиган қилинг. Электролиз жараёнини 20 мин давомида ўтказиб, занжирда ток кучини реостат билан ўзгартирмай туринг. Тажиба тамом бўлгач, калитни узинг, мис катодни эритмадан чиқариб олиб, электр плиткаси устида куритинг ва тарозидан тортинг.

2. $e_{\text{такр}}$ ни, ток кучи ва вақтни ўлчашнинг энг катта абсолют ва нисбий хатосини ҳисоблаб чикинг; массани ўлчашнинг абсолют хатосини аниқланг; электроннинг заряди микдорини ўлчашдаги энг катта нисбий ва абсолют хатоларни ҳисоблаб топинг.

3. Электроннинг зарядини ўлчаш натижасини ёзинг:

$$e = e_{\text{такр}} \pm \Delta e, \quad e_e = \dots \%$$

Электроннинг заряди қийматини жадвалдаги қийматига солиштириб кўринг.

Текшириш саволи

Электроннинг зарядини ўлчашнинг бу усулидан фойдаланиб, натижанинг аниқлигини орттириш мумкинми? Қандай қилиб?

МАШҚЛАРНИНГ ЖАВОБЛАРИ

1-машқ. 1. 12 м^3 дан ортиқ эмас. 2. $0,002 \text{ кг/моль}$, $0,004 \text{ кг/моль}$. 3. Икки марта. 4. $\approx 0,056 \text{ моль}$. 5. $\approx 1,88 \cdot 10^{22}$. 6. $\approx 4,65 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$. 7. $\approx 8,5 \cdot 10^{26}$. 8. $\approx 5,7 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3$. 9. 3 марта камаяди. 10. $5 \cdot 10^6 \text{ Па}$. 11. $6 \cdot 10^{-11} \text{ Ж}$. 12. $4,9 \times 10^5 \text{ м}^2/\text{с}^2$.

2-машқ. 1. $2,76 \cdot 10^{-23} \text{ Ж/К}_{\text{янг}}$. 2. $\approx 6 \cdot 10^{-12} \text{ Ж}$. 3. $3,14 \cdot 10^4$. 4. Ҳавода молекулар кўп. 5. $5,3 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$. 6. $\approx 0,5\%$.

3-машқ. 1. 12. кПа. 2. 20. 4. 250 К. 6. $\approx 0,0224 \text{ м}^3/\text{моль}$. 8. $\approx 5,8 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$. 9. $\approx 0,15 \text{ м}^3$. 10. $\approx 0,49 \text{ кг/м}^3$. 13. 1,7 марта.

4-машқ. 3. $\approx 0,59 \text{ кг/м}^3$. 6. $\approx 0,92 \text{ кг}$. 7. $\approx 0,21 \text{ кг}$.

5-машқ. 1. 8 мм^2 . 2. $\approx 1,9 \cdot 10^8 \text{ Н}$. 3. $\approx 3,53 \cdot 10^6 \text{ Па}$. 4. 4200 м. 5. $4 \cdot 10^7 \text{ Па}$; $2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$. 6. 2/3.

6-машқ. 1. 1,5 марта ортади. 2. $2,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$. 3. Қамайди. 4. $\approx 34,4 \text{ Ж}$. 8.

$\frac{m}{M} R \Delta T$ га. 9. $1,25 \cdot 10^6 \text{ Ж}$. 10. 20 Ж. 11. $2 \cdot 10^5 \text{ Ж}$. 12. $\approx 10 \text{ К}$. 13. $\approx 37^\circ\text{C}$.

14. 0°C . 15. 1500 К. 16. 20%; $\approx 42\%$. 7-машқ. 2. $\approx 9,2 \cdot 10^{-8} \text{ Н}$. 3. $\approx 2,3 \cdot 10^{20}$.

4. $\approx 2,3 \cdot 10^8 \text{ Н}$. 5. $\approx 1,0 \cdot 10^{-6} \text{ Н}$, тортишиш кучи; $\approx 6,9 \cdot 10^{-7} \text{ Н}$, итаришиш кучи. 6. $\approx 1,1 \cdot 10^{-6} \text{ Н}$, иккинчи зарядга томон.

8-машқ. 1. $\approx 1,5 \cdot 10^{-16} \text{ Кл}$; ≈ 940 ортиқча электрсн. 4. $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Ж}$;

$-1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Ж}$. 5. $E = \frac{\sqrt{q_1^2 + q_1 q_1 + q_2^2}}{4\pi\epsilon_0 r^2}$. 7. 4000 В/м. 9. $-2,3 \cdot 10^3 \text{ В}$.

9-машқ. 1. $\approx 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$. 2. $\approx 1,8 \cdot 10^7 \text{ В/м}$. 3. $\approx 5,5 \text{ мм}$. 4. $U_1 = \frac{d_1 U}{d\epsilon} =$

$= 100 \text{ В}$. 5. 3 марта камаяди. 6. $\approx 4,4 \cdot 10^{-4} \text{ Ж/м}^3$.

10-машқ. 2. $\approx 1,4 \text{ мм}^2$; 15,8 м. 3. $\approx 4,9 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}$. 4. 2 марта кам; 2 марта ортиқ. 6. 1200 А. 7. 3,7 В; 0,2 Ом. 8. 0,33 Вт. 10. 4,1 В; 22,4 Ом.

11-машқ. 3. $1,2 \cdot 10^{-3} \text{ Ж}$.

12-машқ. 3. $\approx 4,1 \text{ кВт}$; $\approx 6,1 \text{ кВт}$. 4. $\approx 2,9 \cdot 10^4 \text{ Кл}$. 5. $\approx 3,3 \cdot 10^{-7} \text{ кг/К}$. 7. $\approx 3 \cdot 10^{-6} \text{ м}$. 9. $\approx 1,33 \cdot 10^7 \text{ м/с}$; $\approx 4,19 \cdot 10^7 \text{ м/с}$.

МУНДАРИЖА

МОЛЕКУЛЯР ФИЗИКА. ИССИҚЛИК ҲОДИСАЛАРИ

Нима учун иссиқлик ҳодисалари молекуляр физикада ўрганилади 4

I боб

Молекуляр-кинетик назариянинг асослари 8

- 1- §. Молекуляр-кинетик назариянинг асосий қонуниятлари.
Молекулаларнинг ўлчамлари 8
- 2- §. Молекулаларнинг массаси. Модда микдори 10
- 3- §. Броун ҳаракати 13
- 4- §. Молекулаларнинг ўзаро таъсир кучлари 16
- 5- §. Газсимон, суюқ ва қаттиқ жисмларнинг тузилиши 17
- 6- §. Молекуляр-кинетик назарияда идеал газнинг талқини 20
- 7- §. Молекулалар тезлиги квадратининг ўртача қиймати 22
- 8- §. Газлар молекуляр-кинетик назариясининг асосий тенгламаси 24
Масала ечиш намуналари 26
I- машк 27
I бобнинг қисқача яқунлари 28

II боб

Ҳарорат. Молекулалар иссиқлик ҳаракатининг энергияси 30

- 9- §. Ҳарорат ва иссиқлик мувозанати 30
- 10- §. Ҳароратни аниқлаш 33
- 11- §. Абсолют ҳарорат. Ҳарорат — молекулалар ўртача кинетик энергия-
сининг ўлчовидир 36
- 12- §. Газ молекулаларининг тезликларини ўлчаш 40
Масала ечиш намуналари 42
2- машк 43
II бобнинг қисқача яқунлари 44

III боб

Идеал газ ҳолатининг тенгламаси 45

Газ қонунлари 45

- 13- §. Идеал газ ҳолатининг тенгламаси 45
- 14- §. Газ қонунлари 48
Масала ечиш намуналари 51
3- машк 53
III бобнинг қисқача яқунлари 54

IV боб

Суюқлик ва газларнинг бир-бирига айланиши 55

- 15- §. Тўйинган буғ 55
- 16- §. Тўйинган буғ босимининг ҳароратга боғлиқ бўлиши.
Қайнаш. Критик ҳарорат 57
- 17- §. Ҳавонинг намлиги 60
Масала ечиш намуналари 62
4- машк 63
IV бобнинг қисқача яқунлари 64

V боб

Каттик жисмлар	65
18-§. Кристалл жисмлар	65
19-§. Аморф жисмлар	67
20-§. Каттик жисмлар деформациясининг турлари	69
21-§. Каттик жисмларнинг механик хоссалари	72
22-§. Пластиклик ва мўртлик	74
Масала ечиш намуналари	76
5- машк	76
V бобнинг қисқача яқунлари	77

VI боб

Термодинамика асослари	78
23-§. Ички энергия	78
24-§. Термодинамикада иш тушунчаси	81
25-§. Иссиқлик миқдори	83
26-§. Термодинамиканинг биринчи қонуни	86
27-§. Термодинамиканинг биринчи қонунини турли хил жараёнларга татбиқ этиш	88
28-§. Табиатдаги жараёнлар қайтмас жараёнлардир	91
29-§. Иссиқлик двигателларининг ишлаш принциплари. Иссиқлик двигателларининг фойдали иш коэффициенти (ФИК)	94
30-§. Иссиқлик двигателларининг аҳамияти. Иссиқлик двигателлари ва атроф-муҳитни муҳофаза қилиш	97
Масала ечиш намуналари	100
6- машк	102
VI бобнинг қисқача яқунлари	103
Хулоса	105

ЭЛЕКТРОДИНАМИКА АСОСЛАРИ

31-§. Электродинамика нима?	106
---------------------------------------	-----

VII боб

Электростатика	108
32-§. Электр заряди ва элементар зарралар	108
33-§. Зарядланган жисмлар. Жисмларнинг электрланиши	110
34-§. Электр зарядининг сақланиш қонуни	112
35-§. Электростатиканинг асосий қонуни — Кулон қонуни	113
36-§. Электр зарядининг бирлиги	115
Масала ечиш намуналари	117
7- машк	118
37-§. Яқиндан таъсир қилиш ва олисдан таъсир қилиш	118
38-§. Электр майдон	121
39-§. Электр майдоннинг кучланганлиги. Майдонлар суперпозицияси принципи	124
40-§. Электр майдонининг куч чизиқлари. Зарядланган шар майдонининг кучланганлиги	126
41-§. Электростатик майдондаги ўтказгичлар	128
42-§. Элементар электр зарядини тажрибада аниқлаш (Милликен — Иоффе тажрибалари)	131
43-§. Электростатик майдондаги диэлектриклар. Диэлектрикларнинг икки тури	133
44-§. Диэлектрикларнинг қутбланиши. Диэлектрик сингдирувчанлик	134

45- §. Бир жинсли электростатик майдондаги зарядли жисмларнинг потенциал энергияси	137
46- §. Электростатик майдоннинг потенциали ва потенциаллар айирмаси	139
47- §. Электростатик майдон кучланганлиги билан потенциаллар айирмаси орасидаги муносабат. Эквипотенциал сиртлар	140
48- §. Потенциаллар айирмасини ўлчаш	143
Масала ечиш намуналари	144
8- машқ	144
49- §. Электр сиғими. Электр сиғимининг бирликлари	146
50- §. Конденсаторлар	148
51- §. Зарядланган конденсаторнинг энергияси. Конденсаторларнинг қўл-ланилиши	150
Масала ечиш намуналари	153
9- машқ	154
VII бобнинг қисқача яқунлари	155

VIII боб

Ўзгармас ток қонунилари	157
52- §. Электр токи. Ток кучи	157
53- §. Электр тоқининг мавжуд бўлиш шартлари	160
54- §. Занжирнинг бир қисмига оид Ом қонуни. Қаршилиқ	164
55- §. Электр занжирлари. Ўтказгичларни кетма-кет ва параллел улаш	164
56- §. Ток кучини ва кучланишни ўлчаш	166
57- §. Ўзгармас токнинг иши ва қуввати	167
58- §. Электр юритувчи куч	169
59- §. Тўлиқ занжир учун Ом қонуни	171
Масала ечиш намуналари	174
10- машқ	175
VIII бобнинг қисқача яқунлари	175

IX боб

Магнит майдон

60- §. Токларнинг ўзаро таъсири. Магнит майдон	177
61- §. Магнит индукцияси вектори. Магнит индукцияси чизиклари	179
62- §. Магнит индукцияси векторининг модули. Ампер кучи	182
63- §. Электр ўлчов асбоблари	186
64- §. Ампер қонунининг татбиқлари. Громкоговоритель	187
65- §. Магнит майдоннинг ҳаракатланаётган зарядга кўрсатилган таъсири. Лоренц кучи	188
66- §. Модданинг магнит хоссалари	191
Масала ечиш намуналари	195
11- машқ	196
IX бобнинг қисқача яқунлари	196

X боб

Турли муҳитларда электр токи

67- §. Турли моддаларнинг электр ўтказувчанлиги	198
68- §. Металларнинг электрон ўтказувчанлиги	199
69- §. Ўтказгич қаршилигининг ҳароратга боғлиқлиги	201
70- §. Ўта ўтказувчанлик	202
71- §. Яримўтказгичларда электр токи	204
72- §. Аралашмали яримўтказгичларнинг электр ўтказувчанлиги	206
73- §. <i>n</i> -тип ва <i>p</i> -тип яримўтказгичларнинг бир-бирига тегиш (контакт-лашиш) жойидан электр токи ўтиши	208

74- §. Яримўтказгичли диод	209
75- §. Транзисторлар	211
76- §. Термисторлар ва фоторезисторлар	213
77- §. Вакуумда электр токи. Диод	214
78- §. Электронлар дастаси. Электрон-нур трубкаси	217
79- §. Суюкликларда электр токи	220
80- §. Электролиз қонуни	222
81- §. Газларда электр токи	224
82- §. Номустақил ва мустақил разрядлар	226
83- §. Мустақил разряднинг турлари ва уларнинг техникада татбиқ этилиши	229
84- §. Плазма	232
Масала ечиш намунаси	235
<i>X</i> бобнинг қисқача яқунлари	236
85- §. Электродинамика қонунларининг техник татбиқлари	237
Хулоса	239
Лаборатория ишлари	240
Машқларнинг жавоблари	252

**МЯКИШЕВ ГЕННАДИЙ ЯКОВЛЕВИЧ,
БУХОВЦЕВ БОРИС БОРИСОВИЧ**

Ф И З И К А

Ўрта мактабнинг 10- синфи учун дарслик

М., «Просвещение» нашриётининг русча 1989 й.
нашрига мувофиқ ўзбекча иккинчи наشري

Ташкент «Уқитувчи» 1995

Таҳририят мудир *М. Пўлатов*

Таржимон *Р. Сайдалиев*

Мухаррирлар: *Ю. Музаффархўжаев, М. Пўлатов*

Расмлар муҳаррири *Т. Қаноатов, С. Соин*

Техн. муҳаррир *Т. Скиба*

Мусахҳиҳа **М. Махсудова**

Муқовани экспериментал графика бўлимининг расмони *Ю. Қудинов* ишлаган.

ИБ № 6722

Диапозитивдан босишга рухсат этилди 31.10.94. Формати 60×90/16. Офсет қоғози. Литературная гарн. Кегли 10 шпониз, 8 шпонли. Офсет босма усулида босилди. Шартли б. л. 16,0. Шартли кр.-отт. 33,0. Нашр. л. 16,17. Тиражи 187 000. Заказ № 4878.

«Уқитувчи» нашриёти. Тошкент — 700129. Навоий кўчаси, 30. Шартнома № 09—24—94.

При участии ТОО «Чарли». ЛР № 062588 от 7.05.93.

Отпечатано на Смоленском полиграфическом комбинате Комитета Российской Федерации по печати. 214020, Смоленск, ул. Смольянинова, 1.

Качество воспроизведения текста соответствует качеству представленных издательством диапозитивов.