

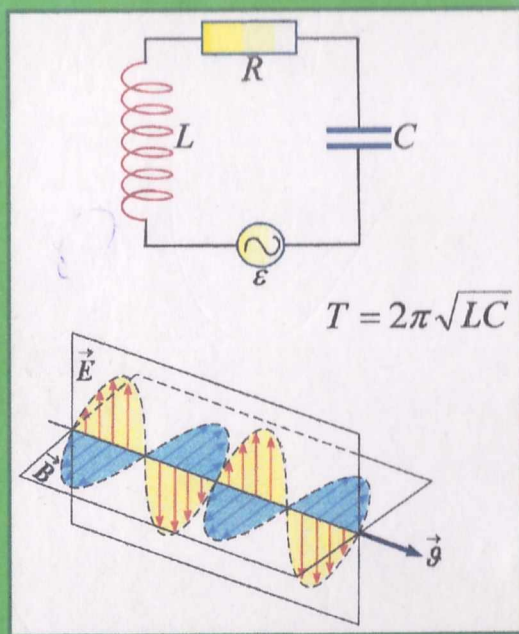
221955



Х. САЪДУЛЛОЗОДА,
Д. М. АҚДОДОВ

Донишгоҳи миллии Тоҷикистон

ЭЛЕКТР ВА МАГНЕТИЗМ



Ҳ. САЪДУЛЛОЗОДА, Д.М. АҚДОДОВ

*Китоб ба соли маорифу фарҳанги
техникӣ ва 20-солагии истиқлолияти
Ҷумҳурии Тоҷикистон бахшида мешавад.*

ЭЛЕКТР ВА МАГНЕТИЗМ

ДАРСНОМА БАРОИ
МАКТАБҲОИ ОЛӢ

Душанбе-2011

Муаллифон: номзади илмҳои техники, дотсент
Ҳочатулло Саъдуллозода Садуллоев;

номзади илмҳои физика ва математика
Ақдодов Донаёр Мавлобахшович.

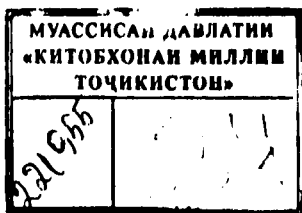
,

Муқарризон: Кодиров Бобокул Абдуллоевич-номзади илмҳои физика ва математика, дотсент; Чумъаев Хусейн Қобилович-номзади илмҳои педагогӣ, дотсент; Сайдуллоева Муътабар-номзади илмҳои химия, и.в. профессор; Соддиқов Ислои Соддиқович-номзади илмҳои физика ва математика, дотсент; Сабзалии Мисриён-номзади илмҳои физика ва математика, дотсент.

Дарсномаи тозазҷоди доир ба фанни «Электр ва магнетизм» панҷ боб: 1. Электростатика, 2. Қонунҳои ҷараёни доимӣ, 3. Майдонҳои магнитӣ, 4. Ходисаҳои электромагнитӣ ва қонунҳои ҷараёни гальвнрӯбанда, 5. Лаппиш ва мавҷҳои электромагнитӣ-ро дар бар гирифта, бо 134 расму нигораҳо ороиш дода шудааст.

Китоб мутобиқи барномаҳои таълимии Донишгоҳи миллии Тоҷикистон таълиф ёфтааст ва ҷавобгӯи ҳади аққали Стандарти давлатӣ доир ба таълими олии касбии Ҷумҳурии Тоҷикистон мебошад.

Дарснома ба ҷиғирдони ихтисосҳои физикаи донишгоҳҳо, ҷуғнини мактабҳои олии техникӣ ва табиатшиносӣ тавсия карда мешавад.



Хонандаи арчманд, ба рӯйхати адабиёте, ки дар таълифи китоби дар даст доштаатон ин ё он қадар истифода шуданашонро таъкид менамоям, назар афканед. Дар он китобхое, ки ба соҳаҳои электр ва магнетизм бахс мекунанд ва солҳои охир ба забони тоҷикӣ барои мактабҳои олӣ дарҷ ёфтаанд, ангуштшуморанд. Ҳол он, ки китобҳои дар ин соҳа бевосита ба забони русӣ таълифёфта ё аз забонҳои дигар ба забони русӣ тарҷумашуда маротиба зиёдаанд. Гузашта аз ин, дар баъзе аз васоити таълимии ба забони тоҷикӣ нашргардида, ки ба ҳалли намунавии масъалаҳои доир ба электр ва магнетизм ба қадри бояду шояд барои амиқтар азбар қардани мавзӯҳо кӯмак мерасонда бошанд, камтар аҳамият дода шудааст. Дар ҳама аз онҳо ба таҷрибаҳои таълими назарияҳоро қонунҳои диққати назаррас дода нашуданашонро пайҳас қардан душвор нест.

Ин гуна камбудихоро, ки ба зарурияти наشري он китобҳо ба ҳама ваҷҳ монанд нашуда буданд, ба эътибор гирифта, муаллифон бо истифодаи таҷрибаи солҳои тӯлонӣ дарсгӯӣ аз электр ва магнетизм барои ихтисосҳои гуногуни илм ва техника, фанҳои дигари табиатшиносӣ ба таълифи китоби барои эҳтиёҷманди ин соҳаҳо пешкашгардида миён бастанд.

Ҳангоми таълифи ин васитаи таълимӣ боз ба он диққати ҷиддӣ дода шуд, ки китоб бояд ба талаботи Стандарти давлатии таълими маълумоти олии касбии Ҷумҳурии Тоҷикистон ҷавобгӯ бошад. Муаллифон то ҷӣ андоза ба ин талабот муваффақ гардидаанд, бигзор мутахассисони варзидаи ин соҳаҳо ва эҳтиёҷмандони китоб арзёбӣ намоянд.

Китоб панҷ бобро дарбар гирифтааст: 1. Электростатика, 2. Қонунҳои ҷараёни доимӣ, 3. Ҳодисаҳои магнитӣ, 4. Ҳодисаҳои электромагнитӣ ва қонунҳои ҷараёни тағйирёбанда, 5. Лаппиш ва мавҷҳои электромагнитӣ.

Баёни мавзӯҳои тамоми бобҳо ба намунаи ҳалли бисёр масъалаҳои барои амиқтар азбар намудани мунтазами мавзӯҳо кӯмақрасон ҷӯр мешаванд. Ғайр аз он, дар поёни ҳар як боб машқҳои иборат аз 25-30 масъалаҳо бо ҷавобҳои онҳо барои ҳалли мустақилона оварда шудаанд.

Муаллифон ба муқарризони мӯхтарам: Қодиров Бобокул Абдуллоевич-номзоди илмҳои физика ва математика, дотсенти факултети физикаи Донишгоҳи омӯзгорӣ Тоҷикистон ба номи С. Айни; Ҷумъаев Ҳусейн Қобилович-номзоди илмҳои педагогӣ, мудири кафедраи методикаи таълими физикаи Донишгоҳи омӯзгорӣ Тоҷикистон ба номи С. Айни; Сайдуллоева Мӯтабар-номзоди илмҳои химия, иҷрокунандаи вазифаи профессори кафедраи физикаи Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ; Соддиқов Илмом Соддиқович-номзоди илмҳои физика ва математика, мудири кафедраи физикаи Донишгоҳи аграрӣ Тоҷикистон ба номи Шириншох Шотемур; Сабзалии Мисриён-номзоди илмҳои физика ва математика, дотсенти кафедраи физикаи ҷисмҳои сахти Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, ки барои пурмазмунтар гардидани китоб маслиҳатҳои хеле муфид додаанд, инчунин ба муҳаррирони маъсул – дотсент Х. Шарифзода, Истамов Ф.-номзоди илмҳои физика ва

математика, Шоимов У.-муаллими калони кафедраи физикаи умумии Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, ки дар бартараф кардани чанде аз камбудихову норасоихои дар китоб роҳёфта сахм гузоштанд, арзи миннатдорӣ менамоянд.

Китоб ба соли маорифу фарҳанги техникӣ ва 20-солагии истиклолияти Ҷумҳурии Тоҷикистон бахшида мешавад.

Муаллифон умедворанд, ки хонандагони арҷманд доир ба тарзи баёни мавзӯҳо, мундариҷа ва банду бастии китоб ақидаҳои худро бевосита ба нишонаи кафедраи физикаи умумии Донишгоҳи миллии Тоҷикистон ё тариқи матбуоти даврӣ изҳор менамоянд ва ба нашрияҳои минбаъдаи мукамалтари китоб сахмгузор мешаванд.

Муаллифон

МУҚАДДИМА

Вожаҳои раъду барқ, ҷараёну қувваҳои электрӣ, инчунин кори мошину дастгоҳҳо, механизмҳои гуногун, компютерҳо, асбобҳои рӯзгор (гармидиҳандаҳо, мошинҳои ҷомашӯӣ, ҷароғҳои гуногун, радиову телевизион, телефонҳои мобилӣ), василаҳои андозагирӣ (амперметру вольтметрҳо ва ғайра), ҳаракати троллейбусу трамвайҳо, ки бо таъсири ҷараёнҳои электрӣ иҷро мешаванд, ба бисёриҳо гӯё маълуманд. Вале ҳодисаҳои ба ном электромагнитӣ ва қонуниятҳои онҳо, ки омӯхташон ҳадафи ин дарснома мебошад, на ба ҳама шиносанд. Ҳол он, ки амали кулли мошину дастгоҳҳои зикрфто маҳз ба қонуниятҳои ҳодисаҳои электромагнитӣ асос ёфтаанд.

Аксари қувваҳо, ки шумо бо онҳо дар қисмҳои механикаю физикаи молекулавӣ шинос шудед: ҷандирӣ, соиш, фишор, гидродинамикӣ (ғайр аз қувваҳои гравитатсионӣ) табиатан электромагнитӣанд. Дар сохтори атому молекулаҳо, ки тамоми моддаҳо аз онҳо таркиб ёфтаанд, қувваҳои электромагнитӣ нақши ҷиддӣ доранд.

Муқаррар карда шудааст, ки афканишоти гуногун – инфрасурх, рӯшноии ба ҷашм намоён, ултрабунафш, шуоҳои рентгенӣ, гамма-шуоҳои табиати ҷона доранд-онҳо мавҷҳои электромагнитӣанду бо басомад ё дарозии мавҷашон фарқ мекунанд.

Барои ба қонуниятҳои ҳодисаҳои электромагнитӣ амиқтар сарфаҳм рафтан муҳтасар бо таърихи ташаккул ёфтани мафҳумҳои асосӣ ва донишҳои мо оид ба ҳодисаҳои электромагнитӣ аз аҳамият ҳолӣ нест.

Юнониҳои қадим (садаи VI пеш аз солшумории милодӣ) ҳодисаи аҷибро мушоҳидаву доир ба он дар маъхазҳо маълумот дода буданд (Фалес Милетский): хангоми бо максоди тоза кардан ба матои пашмин совидани мӯҳраҳо, ки аз қатрон (шилм)-и дарахтон месохтанду бо мурури замони тира мегаштанд, ба онҳо нахҳои мӯй, ҷизҳои майдаи сабук ҷазб мешаванд (ба забони тоҷикӣ ин гуна қатрон қаҳрабо ном доштанаширо хотиррасон менамоем). Садаҳои тӯлонӣ ин ҳодиса танҳо ҳоси қаҳрабо доништа мешуд.

Олими англис У. Гилберт с. 1600 китобро бо унвони «Дар бораи магнит, моддаҳои магнитӣ, Замин-магнити азимҷусса» ба нашр расонда, ғайр аз қаҳрабо зиёда аз 20 моддаҳои дигар (гӯгирд, намаки ошӣ, шиша, кварц, аксари сангҳои қиматбаҳо,...)-ро номбар кардааст, ки дорои ҳосияти қаҳрабо гардида метавонанд. Ҳамин буд, ки У. Гилберт ба забони юнонӣ *электрон* ном доштани қаҳрабро ба эътибор гирифтаву шояд барои гирифтани кашофони нахустини ҳосияти қаҳрабо ва моддаҳои дигари номбурда ҳодисаи дар боло зикрфтаро «*электрӣ*» номид. Дар ин асос У. Гилберт дар таърихи илмҳои табиатшиносӣ чун поягузори соҳаи электромагнитӣ шинохта шудааст.

Агар ҷисме тавассути соиш ё усули дигаре (мо бо онҳо минбаъд шинос хоҳем шуд) ҳосияти кашидани нахҳои мӯй ё ҷизҳои майдаю

сабукро пайдо намояд, меѓуянд, ки он чисм дорон як *миқдор электр*^{*)} (ба лафзи русӣ *количество электричества* ё мухтасар *заряд*, ба англисӣ *electricity*) мебошад. (Ин гуна ходисаро ба русӣ *электризация* меноманд, ки дар ибтидои тарҷумаи китобҳои дарсӣ аз русӣ ба тоҷикӣ он *электрикшавӣ* қабул шуда буд, вале минбаъд бо сабаби дар ин вожа паси ҳам омадани чор ҳамсадои муҳолифи қойидаҳои забони тоҷикӣ онро бо истилоҳи иқтибосии *заряднокшавӣ* иваз карданд; дар ин китоб ба ҷойи ин вожа муроди ҷи ба ҳақиқати ҳол мувофиқтари *электришавӣ* қорбасти гардид.)

Ҳодисаҳои электрӣ бо сабаби ҳеле заиф будани қувваҳои ҷозибавӣ зикрғфта ва минбаъд татбиқи амалӣ наёфтани то садаи XVII гуё фаромӯш гардиданд. Вале ҳодисаҳои магнитӣ бештар диққати одамонро ҷалб намуданд. Бояд ёдовар шуд, ки магнит низ аз замони қадим маълум будааст. Масалан, дойимо ба як сӯи муайян ниғаронида шудани сӯзани охани магнитнокро, ки аз миёнҷояш дар нуги ресмон овезон аст (намунаи аввалини ақрабаки магнитии ҳозира-кутбнамо-компас)-ро, чиниҳо ханӯз дар садаи XI барои дарёфти самтҳои қорвонгардӣ дар биёбонҳои беканор бо мақсадҳои тичорат истифода мебуданд.

Аврупоиён танҳо дар садаи XII ба муносибати шугл варзидан бо баҳрнавардӣ компасро қорбасти мекардагӣ шуданд.

Соли 1269 дар Фаронса П. Перегринус ҳамеша дорон ду қутб (ҳоло онҳоро шимолӣ ва ҷанубӣ меноманд) будани магнитро ошкор сохт ва муқаррар кард, ки қутбҳои гуногунон ҳамдигарро ҷазб менамоянду қутбҳои ҳамном аз якдигар тела меҳуранд.

Ҳамин тариқ, то охири садаи XVI далелҳои зиёди таҷрибавӣ доир ба магнетизм гун шуданд, вале дар бораи ҳодисаҳои электрӣ маълумоти ночиз гирд омада буданд. У. Гилберт тамоми далелҳои то замонаш маълуми оид ба ҳодисаҳои магнитии электрӣ, инчунин натиҷаҳои тадқиқот ва мушоҳидаҳои ҳудро ҷамъбасти намуда, китоби номбурдаашро ба ҷоп расонд.

Дар нимаи аввали садаи XVII як қатор кашфиётҳои нав доир ба ҳодисаҳои электрӣ таваҷҷӯҳи табиатшиносонро зиёд намуд. Ба ин, пеш аз ҳама, ихтирои мошини электрӣ барои ҳосил кардани зарядҳои зиёд (олими олмонӣ О. Герике, с. 1666) имконияти васеи таҷрибагузарониро фароҳам овард (ин гуна мошинҳои электрии минбаъд ҳеле такмилиғфта ҳоло дар қулли лабораторияи кабинетҳои мактабҳо ҷой гирифтаанд).

Соли 1729 олими англис С. Грей (1666 - 1736) аввалин шуда ба васитаи симҳои металлӣ интиқол додани зарядҳоро ошкор сохта,

*) Ҳоло термини байналмилалӣ «электр» - ро бо истилоҳи «барк» иваз карда истодаанд; ҷунонӣ, энергияи электриро нерӯи барк, ҷараёни электриро - барқ меѓуянд, ки ҷандон дуруст нест. Зеро дар илм, техника садҳо истилоҳҳо дучор меоянд, ки дар таркибашон решаи «электр» доранд: электрод, электролиз, электроника, электростатика, электродинамика, электромагнитӣ ҷанд намуна аз онҳост. Ин гуна терминҳоро бо «барк» ифода кардан ғайри имкон аст, пеш аз ҳама маъни вайрон мешавад, қойидаҳои қалимасозӣ риоя намегарданд. Зиёда аз он. барк ҳодисаи ният қўҳомуддати атмосферист. ки бо дурахш ва ақсар таркиши пурқуввати гулдӯроӣ рӯи медиҳад, вале ҷараёни электрии муқаррарӣ ин гуна аломатҳо надорад. Истилоҳи «барк» бештар ба термини русии «разряд» рост меояд.

моддахоро ба нокил ва ғайринокил (диэлектрик ё изолятор) - хо чудо кард. Олими фаронсавӣ Ш. Дюфэ (1698 - 1739) мавҷудияти танҳо ду чинс (навъ) - ҳои зарядхоро кашф карда, онхоро шишагию каҳрабӯӣ номид. Ӯ муқаррар кард, ки зарядҳои гуногунном ҳамдигарро ҷазб менамоянду зарядҳои ҳамном аз якдигар тела меҳӯранд. Сипас ба ҳодисаҳои электрӣ шавки тадқиқотчиёни афзудан гирифт. Дар асоси таҷрибаҳои олимони рус М.В. Ломоносов (1711 - 1765), Г.В. Рихман (1711 - 1753) ва олими амрикоӣ Б. Франклин (1706 - 1790) табиати электрии раъду барқро муқаррар намуданд (академик Рихман аз таъсири ҷараёни раъду барқ ҳалок гардид). Маҳз Б. Франклин ба ҷойи зарядҳои шишагию каҳрабӯӣ мувофиқан мафҳумҳои зарядҳои мусбату манфиро ба илм ворид кардааст.

Бояд бо ифтихор ёдовар шуд, ки Шайхурраис (Ибни Сино) дар асари худ «Дар зикри сабабҳои раъд» дар натиҷаи соишхӯрии абрҳо ба вучуд омадани оташакро ханӯз дар садаи X шарҳ дода буд. Зиёда аз он, дар рисолаи дигар «Қурокаи табиёт» ӯ овардааст, ки хангоми хилъати навшустаи хушкро бо дастон молиш додан оташак мепарад ва он оташаки хангоми бархӯрди ду санг ҳосилшавандаро ба ёд меорад.

То миёнаи садаи XVIII ҳодисаҳои электрӣ танҳо сифатан тадқиқ карда мешуданд. Олими фаронсавӣ Ш. Кулон (1736 - 1806) қонуни миқдорӣ ҳамтаъсироти ҷисмҳои хурди заряднок (зарядҳои нуқтавӣ) - ро кашф кард (с.1785). Минбаъд олимони итолиёвӣ Л. Галванӣ (1737 - 1798) ва А. Волта (1745 - 1825) ҳодисаҳои электрии контакт (тамос)-иро ошкор сохтанд, ки дар натиҷа А. Волта с. 1800 аввалин шуда манбаи ҷараёнои ихтироъ намуд. Сипас ҷараёни устувори электрӣ - ҳаракати тӯлонии ботартибонаи зарраҳои заряднок ҳосил карда шуд, ки ба бунёди электротехникаи муосир таҳкурсии асосӣ гардид. Даре нагузашта тадқиқотчиёни англис Э. Карлейл (1768 - 1840) ва У. Николсон (1753 - 1815) бо ёрии ҷараёни электрӣ обро ба гидроген ва оксиген таҷзия карда, ба электрохимия асос гузоштанд, ки боиси татбиқи васеии амалии ҷараёни электрӣ гардиду минбаъд ин гуна татбиқҳои ҷараён афзудан гирифтанд.

Соли 1820 олими даниягӣ Х. Эрстед (1777 - 1851) таъсироти ҷараёни электрӣ ба ақрабаки магнитиро кашф кард ва ба ҳам пайваستا будани ҳодисаҳои электрию магнитиро ошкор сохт. Тадқиқотҳои олими фаронсавӣ А.М. Ампер (1745 - 1836) дар ҳамон солҳо, хусусан таъсироти майдони магнити доимӣ ба нокили ҷараёндор ва ҳамтаъсироти ҷараёнҳои параллелӣ дар инкишофи назарияи электромагнитӣ нақши калон бозиданд. Минбаъд дар тадқиқоти оид ба ҳосиятҳои ҷараёни электрӣ кашфиёти олими олмонӣ Г. С. Ом (1787 - 1854), ки ҳоло чун қонуни Ом маъмул аст (с. 1826), саҳми босазо гузошт.

Дар таърихи физика ду кашфиёти олими англис М. Фарадей (1791 - 1864) - аввало ҳодисаи индуксияи электромагнитӣ (с. 1831) ва қонунҳои электролиз (с. 1834), ки асоси татбиқҳои техникаӣ гардиданд, нақши беҳамто бозиданд.

Кашфи қонуни, ки новобаста ба якдигар олими англис Ч.П. Ҷоул (1818 - 1889) ва олими рус Х. Ленс (1804 - 1865) дар соҳаи таъсироти ҳароратии ҷараёни электрӣ (с. 1841 ва 1842) қарданд ва

холо номи онхоро гирифтааст, минбаъд барои татбиқи амалии чараёни электрӣ мусоидат намуд.

Дар ташаккулёбии мафҳуми асосии таълимоти оид ба ҳодисаҳои электромагнитӣ - майдони электромагнитӣ саҳми олимони англис М. Фарадей ва Ч.К. Максвелл (1831 - 1879) хеле бузург аст. Маҳз Максвелл с. 1860 - 1865 назарияи майдони ягонаи электромагнитиро бунёд сохт ва с. 1865 имконияти дар фазои озод паҳн шудани мавҷҳои электромагнитиро пешгӯӣ кард. Ҳамин буд, ки физики олмонӣ Х. Ҳерц (1857 - 1894) ба тарзи таҷрибавӣ (с. 1887 - 1888) имконияти дар фазои озод паҳн шудани мавҷҳои электромагнитиро ошкор сохта, ба назарияи электромагнитии Максвелл асоси комил гузошт.

Аз назарияи Максвелл инчунин табиати мавҷи электромагнитӣ доштани рӯшноӣ бармеояд ва таҷрибаҳои Ҳерц ин хулосаро низ пурра тасдиқ намуданд.

Ба истифодаи амалии мавҷҳои электромагнитӣ ихтироии телеграфи бесим, радио (олими рус А.С. Попов с.1895 ва олими италиявӣ Г. Маркони с. 1896) асос ёфт.

Дар тасдиқи таҷрибавии назарияи Максвелл тадқиқоти олими рус П.Н. Лебедев (1866 - 1912) оид ба ошкор сохтан ва чен кардани фишори рӯшноӣ (с.1901) аҳамияти калон доштанд.

Бояд иқрор шуд, ки муодилаҳои Максвелл чун қонунҳои Нютон умумияти далелҳои таҷрибавӣ буда, ҳодисаҳои электромагнитиро бо сохти дохилии модда алоқаманд намегардонад. Ҳамин буд, ки ин назария ҳодисаи электролиз - ҷудо шудани модда дар электродҳо хангоми аз маҳлули намак, ишқор (асос) туршӣ (кислота) - ҳо гузаштани чараёни электрӣ инчунин ҳамтаъсири чараёни электрӣ бо модда ва чанд ҳодисаҳои дигар - эмиссияи термоэлектронӣ (хориҷ кардани электронҳо дар вақти металлҳоро тафсондан), эффекти фотоэлектрӣ (бо таъсири рӯшноӣ аз сатҳи модда канда шудани электронҳо) ва ғайраро шарҳ дода натавонист. Ин гуна ҳодисаҳо танҳо баъди с. 1897 кашф кардани зарраи таркибии модда - *электрон*, ки массааш назар ба массаи атоми хурдтарин - гидроген анқариб 1837 маротиба хурд аст (Ч.Ч. Томсон - олими англис, лауреати мукофоти Нобелӣ, с.1906), шарҳи худро ёфтанд.

Бунёди ба ном назарияи электронии сохти модда, ки асосгузронаш олими олмонӣ П. Дрүде (1863 - 1906) ва дорандаи ҷоизаи Нобелӣ олими голландӣ Х.А. Лоренс (1853 - 1928) мебошанд, назарияи Максвеллро бо ҳосиятҳои электрии модда пайваст. Дар ин ҷода таҷрибаҳои ниҳоят мохиронаи олими амрикоӣ Р. Милликен (1868 - 1953) оид ба чен кардани миқдори камтарини электр-заряди элементарӣ аҳамияти хоса пайдо кард (ҷоизаи Нобелӣ, с. 1923).

Минбаъд коркарди назарияи диэлектрик ва нимноқилҳо ба назарияи муосири сохти модда пояи мустаҳкам гузошт. Рушду нумӯи физика дар ин соҳа боиси кашфи усулҳои хориҷ кардани энергияи ядрой, ихтироии лазер, коркарди технологияи навтарин гардиданд, ки техника ва фарҳанги инсониятро ба дараҷаи нави инкишоф оварданд.

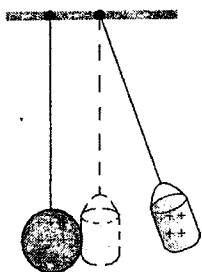
ЭЛЕКТРОСТАТИКА

§1.1. Электришавӣ. Қонуни бақои заряд

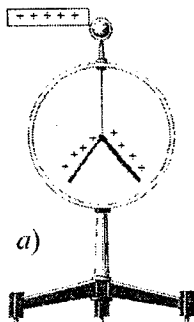
Қисмхоро бо усулҳои гуногун дорои хосияти электрӣ гардондан мумкин аст. Усули маъмулро бисёриҳо медонанд; масалан, агар шонаи пластмассагӣ бо матоии мӯйина соиш дода шавад, он когазпораҳои хурдро ҷазб менамояд. Роҳи дигари заряднок кардани ҷисм дар он аст, ки мавриди ҷисми безарядро ба ҷисми пешаки заряднок расондан, ба он як миқдор электр аз ҷисми заряднок интиқол меёбад. Чунончӣ, агар силиндри хурди коғазиро дар нӯги ресмон овезон карда, ба курачаи заряднок расонем, силиндр баъди як миқдор электр гирифтани аз курача тела меҳӯрад (расми 1.1). Ба ҳамин гуна ҳодиса амали асбоби ошкорсозандаи заряднок будани ҷисм - *электроскоп* (расми 1.2, а) ва дастгоҳи барои ҷен кардани миқдори заряд - *электрометр* (расми 1.2, б) асос ёфтааст.

Агар порчаи металли безарядро ба ҷисми заряднок нарасонда, дар масофае аз он ҷойгир намоем, дар сатҳи ба ҷисм наздики порчаи металл зарядҳои муқобилчинс (расми 1.3, а), дар нӯги дуртари он заряди ҳамчинс гун мешаванд. Дар мавриди заминвасла будани порчаи металл дар он танҳо зарядҳои гуногунчинс боқӣ мемонанду зарядҳои ҳамчинс ба замин интиқол меёбанд (расми 1.3, б). *Зарядҳои* дар порчаи металл ҳосилшударо *индуксионӣ* (аз сухани латинии *inductio*-барангехтан) ва худӣ ҳодисаро *индуксияи электростатикӣ* меноманд.

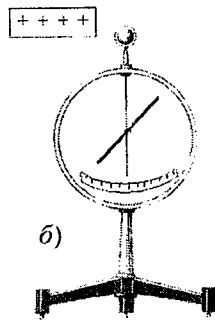
Ҳодисаҳои электрие, ки дар боло тафсир ёфтанд, дар асоси назарияи муосири сохти модда чунин шарҳ дода мешаванд. Атому молекулаҳое, ки моддаҳо аз онҳо таркиб ёфтаанд, сохтори мураккаб доранд. Дар атомҳо зарраҳое мавҷуданд, ки ғайр аз масса дорои хосияти махсуси аслии ба ном электрӣ мебошанд (бояд қайд кард, ки хосияти электрии зарра тавассути ягон мафҳуми соддатари маълум шарҳ дода намешавад ва ба саволи заряд чист? илм ҳанӯз ҷавоби қаноатбахш дода наметавонад). Ин хосият дар қатори масса рафтори атому молекулаҳоро муайян мекунад. Тавре ки дар пешгуфтор зикр ёфт, хосияти электрӣ танҳо ду навъанд; яке мусбату дигаре манфӣ.



Расми 1.1



а)



б)

Расми 1.2

холо номи онҳоро гирифтааст, минбаъд барои татбиқи амалии чараёни электрӣ мусоидат намуд.

Дар ташаккулёбии мафҳуми асосии таълимоти оид ба ҳодисаҳои электромагнитӣ - майдони электромагнитӣ саҳми олимони англис М. Фарадей ва Ч.К. Максвелл (1831 - 1879) хеле бузург аст. Маҳз Максвелл с. 1860 - 1865 назарияи майдони ягонаи электромагнитиро бунёд сохт ва с. 1865 имконияти дар фазои озод паҳн шудани мавҷҳои электромагнитиро пешгӯӣ кард. Ҳамин буд, ки физики олмонӣ Х. Ҳерцс (1857 - 1894) ба тарзи таҷрибавӣ (с. 1887 - 1888) имконияти дар фазои озод паҳн шудани мавҷҳои электромагнитиро ошкор сохта, ба назарияи электромагнитии Максвелл асоси комил гузошт.

Аз назарияи Максвелл инчунин табиати мавҷи электромагнитӣ доштани рӯшноӣ бармеояд ва таҷрибаҳои Ҳерцс ин хулосаро низ пурра тасдиқ намуданд.

Ба истифодаи амалии мавҷҳои электромагнитӣ ихтироии телеграфи бесим, радио (олими рус А.С. Попов с.1895 ва олими италиявӣ Г. Маркони с. 1896) асос ёфт.

Дар тасдиқи таҷрибавии назарияи Максвелл тадқиқоти олими рус П.Н. Лебедев (1866 - 1912) оид ба ошкор сохтан ва чен кардани фишори рӯшноӣ (с.1901) аҳамияти калон доштанд.

Бояд иқрор шуд, ки муодилаҳои Максвелл чун қонунҳои Нютон умумияти далелҳои таҷрибавӣ буда, ҳодисаҳои электромагнитиро бо сохти дохилии модда алоқаманд намегардонад. Ҳамин буд, ки ин назария ҳодисаи электролиз - ҷудо шудани модда дар электродҳо хангоми аз маҳлули намак, ишқор (асос) туршӣ (кислота) - хо гузаштани чараёни электрӣ инчунин ҳамтаъсири чараёни электрӣ бо модда ва чанд ҳодисаҳои дигар - эмиссияи термоэлектронӣ (хориҷ кардани электронҳо дар вақти металлҳоро тафсондан), эффекти фотоэлектрӣ (бо таъсири рӯшноӣ аз сатҳи модда канда шудани электронҳо) ва ғайраро шарҳ дода натавонист. Ин гуна ҳодисаҳо танҳо баъди с. 1897 кашф кардани зарраи таркибии модда - *электрон*, ки массааш назар ба массаи атоми хурдтарин - гидроген анкариб 1837 маротиба хурд аст (Ч.Ч. Томсон - олими англис, лауреати мукофоти Нобелӣ, с.1906), шарҳи худро ёфтанд.

Бунёди ба ном назарияи электронии сохти модда, ки асосгузронаш олими олмонӣ П. Друде (1863 - 1906) ва дорандаи ҷоизаи Нобелӣ олими голландӣ Х.А. Лоренс (1853 - 1928) мебошанд, назарияи Максвеллро бо ҳосиятҳои электронии модда пайваст. Дар ин чода таҷрибаҳои ниҳоят моҳиронаи олими амрикоӣ Р. Милликен (1868 - 1953) оид ба чен кардани микдори камтарини электр-заряди элементарӣ аҳамияти хосса пайдо кард (ҷоизаи Нобелӣ, с. 1923).

Минбаъд қоркарди назарияи диэлектрик ва нимноқилҳо ба назарияи муосири сохти модда пояи мустаҳкам гузошт. Рушду нумӯи физика дар ин соҳа боиси кашфи усулҳои хориҷ кардани энергияи ядрой, ихтироии лазер, қоркарди технологияи навтарин гардиданд, ки техника ва фарҳанги инсониятро ба дараҷаи нави инкишоф оварданд.

Ин электронҳо ҳаҷми моддаро тарк карда наметавонанд, вале дар ин ҳаҷм гӯё озодона ҳаракат мекунанд. Агар дар воҳиди ҳаҷми модда ҳар қадар теъдоди зиёди электронҳои озод мавҷуд бошад, он модда ҷараёни электроиро ҳамон қадар хуб мегузаронад ва металлҳо мисоли ин гуна моддаҳо мебошанд. Ғайр аз металлҳо маҳлули обии ишқор (асос)-ҳо, инчунин ғудохтаи намакҳо низ ноқилҳои хубанд, вале механизми ҷараёнгузарониин онҳо назар ба металлҳо фарқ дорад (дар ин бора минбаъд муфассалтар таваккуф хоҳем кард). Дар ғайриноқил (диэлектрик)-ҳо назар дар ноқилҳои металлӣ теъдоди электронҳои озод хеле кам аст; қаҳрабо, шиша, чинӣ, парафин, рағванҳо, газҳо дар шароити муқарарӣ, резина, аксари пластмассаҳо, оби тоза, ҷӯби хушк ва ғайраҳо диэлектриканд. Бояд қайд кард, ки дар байни ноқилҳои ғайриноқилҳо ҳудуди қиддӣ вучуд надорад, ҳар гуна модда ба ин ё он дараҷа ҷараён гузаронида метавонад (масалан, ҳарчанд оби тоза изолятори хуб аст, дар мавриди ба он маҳлул кардани як микдор намак, ишқор ё туршӣ, ин маҳлул ба ноқил табдил меёбад).

Ҳангоми ҷисмҳои гуногунро ба ҳам соиш додан маҳз электронҳои озод аз як ҷисм ба ҷисми дигар интиқол меёбанд; ҷисме, ки як микдор электронҳояшро гум мекунад, мусбату ҷисми электронҳои озод қабулнамуда манфӣ заряднок мешаванд. Ҳар қадар ҷисмҳо дорои микдори зиёдтари ин ё он ҷинси электр гарданд, қувваи ҷозиба ё таладихии электрии байни ин ҷисмҳо ҳамон қадар меафзояд. Аз ин рӯ микдори электр меёри пурзӯр ё сул будани қувваҳои ҳамтаъсири ҷисмҳои заряднок мебошад.

Дар шароити муқаррарӣ аксари ҷисмҳо нейтраланд. яъне дар онҳо микдори зарядҳои мусбату манфӣ баробаранд. Агар бо ягон роҳ, масалан тавассути соиш ин мувозанат вайрон карда шавад, ҷисмҳо заряднок мегарданд.

Таҷрибаҳо собит менамоянд, ки зарядҳои ҷисмҳо аз ҳеҷ ба вучуд намеоянду нест ҳам намешаванд, онҳо дар байни ҷисмҳои гуногуни ягон системаи ҷисмҳо тавре тақсим мегарданд, ки микдори умумии заряди система ҳар қадаре дар ибтидо бошад, ҳамон қадар боқӣ мемонад. Ин ҳулоса моҳияти яке аз қонунҳои табиат - *қонуни бақои зарядро* ифода менамояд. Қонуни бақои зарядро ба тарзи математикӣ чун:

$$q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_N = \sum_{i=1}^N q_i = \text{const}$$

пешниҳод карда метавонем, ки дар ин ҷо $q_1, q_2, \dots, q_N$ -зарядҳои ҷисмҳои системаи сарбаст мебошанд. То ҳол ягон мавриди вайроншавии ин қонун ошқор нагардидааст. Пас, ду ҷисми ба ҳам соишхӯрда ба микдорҳои баробар, вале яке мусбату дигаре манфӣ заряднок мешаванд.

Фарз мекунем, ки ду курачаи металлӣ айнан якхелаи яке ба қадри $q_1 = \pm 2 \text{ мкКл}$ ва дигаре $q_2 = \pm 8 \text{ мкКл}$ заряднокбударо ба ҳам расонда, аз нав дуртар ҷойгир намоем, онҳо мувофиқи қонуни бақои

заряд дорои микдорҳои электрии $q'_1 = q'_2 = \frac{q_1 + q_2}{2} = \pm 5 \text{ мкКл}$ мегарданд,

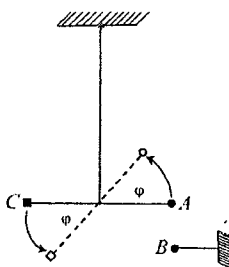
зеро курачаҳо аз якдигар бартарие надоранд (дуртар мефаҳмем, ки ғунҷоиши электрии онҳо баробаранд). Дар мавриди то расиш

курачаҳо ба қадри $q_1 = -2 \text{ мкКл}$ ва $q_2 = 8 \text{ мкКл}$ заряднок будан баъди расиш микдори электри онҳо акнун $q_1' = q_2' = \frac{-2+8}{2} \text{ мкКл} = 3 \text{ мкКл}$ мешавад.

Дар физикаи атому ядро нақши қонуни бақои бузург мебошад.

§1.2. Қонуни Кулон

Тавре ки зикр ёфт, ду ҷисми заряднок (мухтасар зарядҳо) ба ҳам таъсир мерасонанд: зарядҳои ҳамном (ҳарду мусбат ё ҳарду манфӣ) аз якдигар тела меҳӯранду зарядҳои гуногунном (яке мусбату дигаре манфӣ) ҳамдигарро ҷазб менамоянд. Ба кадом бузургӣҳо вобаста будани қувваҳои ҳамтаъсири зарядҳои нуқтавиرو Ш. Кулон микдоран тадқиқ кард (ҷисмҳои заряднокеро, ки андозаҳои онҳо назар ба фосилаи байни онҳо хеле хурд мебошанд, ба сифати *зарядҳои нуқтавӣ* қабул намудан равоост).



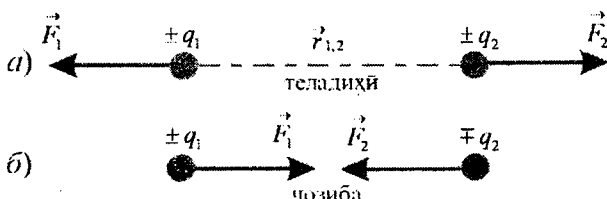
Расми 1.4

Ш. Кулон курачаҳои хурди дорои як микдор заряди электрӣ ва тарозуи тобхӯранда*) - ро истифода бурд, ки барои ба даст даровардани қиматҳои ба қадри кофӣ саҳеҳ мусоидат менамуданд. Ў яке аз курачаҳо, масалан курачаи А-и безаряд (расми 1.4) бо порсангаш С-ро, ки ба мисли паллаҳои тарозу дар нӯги сими борики нуқрагин овеzon аст, ба курачаи беҳаракати В-и дорои микдори заряди электрии q мерасонад. Курачаи А аз курачаи В як микдор заряд мегираду аз он тела меҳӯрад ва ба масофае дур мешавад, ки қувваи деформатсияи чандирини тобхӯрии сим бо қувваи теладиҳии электрӣ ба мувозанат ояд. Дар ин маврид фосилаи байни курачаҳо ва кунҷи тобхӯрии сим φ -ро дониста, бузургии қувваи электриро муайян кардан имконпазир мешавад (хотиррасон менамоем, ки моменти қувваи гардишовар, дар мисоли мо, қувваи электрии ба қувваи чандирӣ ҳар гоҳ баробар ба кунҷи тобхӯрии сим φ мутаносиб аст). Бо ин гуна тадқиқот Кулон ба бузургии зарядҳои курачаҳо ва фосилаи байни онҳо мутаносиб будани қувваҳои электриро муқаррар кард.

Бояд ёдовар шуд, ки дар замони Кулон ҳанӯз бузургии зарядро чен карда наметавонистанд. Вале Кулон ин мушкилотро моҳирона бартараф кард. Агар ду курачаи айнан якандозаю якҷинса, ки яке

*) чун тарозуи Г. Кавендиш барои муайян кардани доимии гравитатсионӣ.

дорои микдори электри q ва дигаре безарядро ба ҳам расонем, дар асоси қонуни бақои заряд $q_1 = q_2 = \frac{1}{2}q$ мешавад. Сипас, ба яке аз курачаҳо масалан, курачаи B хамин гуна курачаи сеюми безарядро мерасонем, он гоҳ микдори электри курачаи B боз ду маротиба кам, акнун курачаҳои A ва B дорои зарядҳои $q/2$ ва $q/4$ мешаванд. Бо ин усул курачаҳоро то микдори дилхоҳ заряднок қардан мумкин мебошад. Дар натиҷа Кулон қонуни ҳамтаъсири зарядҳои нуқравиро кашф кард, ки ҳоло номи ӯро гирифтааст: *қувваи ҳамтаъсири ду заряди нуқтавӣ ба ҳосили зарби бузургии зарядҳо мутаносиби роста, ба квадрати масофаи байни онҳо мутаносиби чаппа буда, ба рафти хати ростии зарядҳоро васлсозанда самт мегирад.* (расми 1.5, а, б)



Расми 1.5

Формулаи қонуни Кулон дар шакли модул чунин намуд дорад (мувофиқи қонуни сеюми динамика $|\vec{F}_1| = |\vec{F}_2| = F$ буданаш ба эътироф гирифта шудааст):

$$F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2} \quad (1.1)$$

Дар ин ҷо k - коэффитсиенти мутаносибӣ буда, тавассути таҷриба муқаррар карда мешавад ва вобаста ба интихоби системаи воҳидҳо қимати муайян мегирад. Дар СИ қимати ин коэффитсиент:

$$k = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2$$

мебошад; яъне ду заряди $|q_1| = |q_2| = 1 \text{ Кл}$ дар вакуум дар масофаи 1 м ба якдигар бо қувваҳои абаркудрати $F = 9 \cdot 10^9 \text{ Н}$ таъсир мекунад. Воҳиди заряд дар системаи пештара (СГСЕ) 1 СГС_q буда, он ба $\frac{1}{3} \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$ баробар аст. Дар ин система $k=1$ қабул шуда буд.

Дар шакли векторӣ формулаи қонуни Кулон чунин намуд мегирад:

$$\vec{F}_2 = k \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \cdot \frac{\vec{r}_{1,2}}{r} \quad (1.2)$$

ва дар он $\vec{F}_2$ - қувваест, ки ба заряди q_2 аз ҷониби заряди q_1 таъсир менамояд, $\vec{r}_{1,2}$ - радиус-вектори заряди q_2 дар системаи сарҳисоби ибтидоияш дар заряди q_1 ҷойгиршударо мефаҳмонад. Айнан қуввае, ки

ба заряди q_1 аз чониби заряди q_2 таъсир менамояд, чунин пешниҳод мешавад:

$$\vec{F}_1 = k \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \cdot \frac{\vec{r}_{2,1}}{r} \quad (1.3)$$

ва $\vec{r}_{2,1}$ - радиус-вектори заряди q_1 мебошад, агар ибтидои системаи сарҳисобро дар заряди q_2 ҷойгир намоём ($|\vec{r}_{1,2}| = |\vec{r}_{2,1}| = r$).

Аз формулаи (1.2) бармеояд, ки дар ҳоли ҳамчинс будани зарядҳо ($q_1 \cdot q_2 > 0$) векторҳои $\vec{F}_2$ ва $\vec{r}_{1,2}$ ба як сӯ равонаанду дар мавриди гуногунчинс будани онҳо ($q_1 \cdot q_2 < 0$) ин векторҳо муқобилсамтанд (расми 1.5, а, б).

Бояд хотиррасон кард, ки ҳоло формулаи қонуни Кулонро дар шакли такмилёфта пешниҳод менамоянд, ки дар он коэффитисенти k мувофиқи таносуби:

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

иваз карда мешавад ва дар он

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2} \quad (\text{ё } \Phi / \text{м})$$

доимии электрӣ ном дорад. Ҳамин аст, ки формулаи (1.1)-ро чунин пешниҳод кардан маъмул гаштааст:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2} \quad (1.4)$$

Таҷрибаҳои минбаъда собит карданд, ки бузургии қувваи ҳамтаъсиrotи зарядҳо дар мавриди ин зарядҳоро дар муҳити диэлектрикӣ ҷойгир намудан назар дар вакуум ϵ мартаба хурд мешавад:

$$\epsilon = \frac{F_0}{F}, \quad (1.5)$$

дар ин ҷо F_0 - бузургии қувваи ҳамтаъсиrot дар вакууму F - ҳамин қувва дар муҳити диэлектрикӣ мебошанд. Ҳамин аст, ки ϵ - нуфузпазирии нисбии диэлектрикии муҳит ном гирифтааст.. Аз ин рӯ қонуни Кулон дар муҳит ба намуди:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{\epsilon r^2} \quad (1.6)$$

пешниҳод мешавад.

Қиматҳои тавассути таҷрибаҳо мукаррар шудаи ϵ - ро, ки мувофиқи (1.5) адади ҳолис (бевоҳид) аст, барои баъзе моддаҳои диэлектрикӣ дар ҷадвали 1 меоварем.

Ҷадвали 1. Нуфузпазирии нисбии диэлектрики баъзе моддаҳо

Модда	ϵ	Модда	ϵ
Вакуум	1,00000	Қоғазӣ хушк	2÷2,50000
Ҳаво	1,00059	Қаҳрабӯ	2,80000
Қарасин	2,00000	Чинӣ	4,5÷7,00000
Спиртӣ этил	24÷27,00000	Шيشа	4÷16,00000
Оби тоза	81,00000	Абрак (слюда)	7,00000

Равған	2,20000	Теллуриди сурб	400,00000
--------	---------	----------------	-----------

Аз тахлили чадвали 1 бармеояд, ки дар моеъҳо, кимати ε барои об зидтарин аст ($\varepsilon = 81$). Беҳуда нест, ки обро барои шустушӯй истифода мебаранд. зеро қувваи ҷозибаи электрии байни матоъ ва ифлосӣ (чирк) - ҳоро об 81 маротиба кам мекунад ва барои онҳоро аз либосҳо дур андохтан хеле мусонд аст (субун ва хоқаҳои шустушӯй бо кафкашон барои ин кор саҳми босазо доранд).

Дар мавриди номумкин будани ҷисмҳои калонро ба сифати заряди нуктавӣ қабул кардан он ҷисмҳоро ба ҷунон қисмҳои хурд бояд тақсим намуд, ки ҳар яки онҳоро акнун ҷун заряди нуктавӣ пиндоштан раво гардад. Сипас, барои ҳар як ҷуфти он зарядҳо қувваҳои ҳамтаъсиротро бо дарназардошти фосилаи байни онҳо ва самтҳо тавассути формулаҳои қонуни Кулон ба ҳисоб гирифта, мувофиқи қоидаи ҷамъи векторҳо қувваи натиҷавиро бояд муайян кард, ҳарчанд ин кор басо мушкилу ҳатто дар баъзе мавридҳо ғайриимкон аст. Хушбахтона, ба тарзи таҷрибавӣ муайян кардани қувваҳои ҳамтаъсироти ҷисмҳои бузурги заряднок ба туфайли абаркудрат будани ин қувваҳо чандон душвор нест.

Аknун чанд намунаи татбиқи амалии қонуни Кулонро пешниҳод менамоем.

Мисоли 1.1. Дар атоми сабуктарин – гидрогене, ки ядрояш аз якто протон (микдори электраш $q_1 = +e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$, массааш $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$) ташкил ёфтаасту мутобиқи модели начандон саҳеҳ дар гирди он якто электрон ($q_2 = -e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$, $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$) дар масофаи $r = 0,53 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ давр мезанад. Бузургии қувваи ҷозибаи электрӣ чӣ қадар асту он назар ба қувваи ҷозибаи гравитатсионӣ чанд маротиба фарқ мекунад?

Маълумот:

$$\begin{array}{l} m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \\ q_1 = +e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \\ m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \\ q_2 = -e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \\ r = 0,53 \cdot 10^{-10} \text{ м} \\ \hline F_{\text{ел}} - ? \quad \frac{F_{\text{эл}}}{F_{\text{гп}}} - ? \end{array}$$

Ҳал

Аввало қувваи ҷозибаи электриро муайян менамоем:

$$\begin{aligned} F_{\text{эл}} &= k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2} = \\ &= 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2} \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}}{(0,53 \cdot 10^{-10} \text{ м})^2} = \\ &= 8,2 \cdot 10^{-8} \text{ Н} \end{aligned}$$

Аknун ин қувваро бо қувваи гравитатсионӣ муқоиса мекунем:

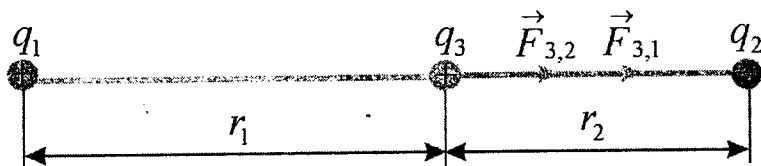
$$\frac{F_{\text{эл}}}{F_{\text{гп}}} = \frac{k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2}}{G \frac{m_p \cdot m_e}{r^2}} = \frac{k |q_1| \cdot |q_2|}{G m_p \cdot m_e} = \frac{9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}}{6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2} \cdot 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}} = 2 \cdot 10^{39},$$

яъне, қувваи ҷозибаи гравитатсионӣ назар ба қувваи ҷозибаи электрӣ

чунон хурд аст, ки кувваи гравитатсиониро ба эътибор нагирифта раавост.

Ҷавоб: $\frac{F_{\text{эл}}}{F_{\text{г}}} = 2 \cdot 10^{39}$ маротиба.

Мисоли 1.2. Зарядҳои $q_1 = 40 \text{ мкКл}$ ва $q_2 = -10 \text{ мкКл}$ аз якдигар дар масофаи $r = 10 \text{ см}$ ҷойгиранд. Агар заряди $q_3 = 4 \text{ мкКл}$ аз заряди q_2 дар масофаи $r_1 = 6 \text{ см}$ ва аз q_1 дар фосилаи $r_2 = 4 \text{ см}$ воқеъ гардад, ба он чӣ қадар кувваи натиҷавӣ ва ба кадом самт таъсир мекунад?



Расми 1.6

Маълумот:

$$\begin{aligned} q_1 &= 40 \text{ мкКл} = 4 \cdot 10^{-5} \text{ Кл} \\ q_2 &= -10 \text{ мкКл} = -10^{-5} \text{ Кл} \\ q_3 &= 4 \text{ мкКл} = 4 \cdot 10^{-6} \text{ Кл} \\ r &= 10 \text{ см} = 0,1 \text{ м} \\ r_1 &= 6 \text{ см} = 6 \cdot 10^{-2} \text{ м} \\ r_2 &= 4 \text{ см} = 4 \cdot 10^{-2} \text{ м} \\ F &= ? \end{aligned}$$

Ҳал

Мувофиқи қонуни Кулон ба заряди q_3 аз ҷониби заряди q_1 кувваи электрии теладиҳии:

$$\begin{aligned} F_{3,1} &= k \frac{|q_1| \cdot |q_3|}{r_1^2} = \\ &= 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2} \frac{4 \cdot 10^{-5} \text{ Кл} \cdot 4 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}}{(6 \cdot 10^{-2} \text{ м})^2} = \\ &= 400 \text{ Н} \end{aligned}$$

таъсир менамояд, ки аз заряди q_2 сӯйи рост равааст (расми 1.6).

Ба заряди q_3 аз ҷониби заряди q_2 кувваи кулонии ҷозибавии:

$$F_{3,2} = k \frac{|q_3| \cdot |q_2|}{r_2^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2} \frac{4 \cdot 10^{-6} \text{ Кл} \cdot 10^{-5} \text{ Кл}}{(4 \cdot 10^{-2} \text{ м})^2} = 225 \text{ Н}$$

таъсир мекунад, ки низ аз заряди q_3 сӯйи рост равааст. Пас, кувваи натиҷавӣ:

$$F = F_{3,1} + F_{3,2} = 400 \text{ Н} + 225 \text{ Н} = 625 \text{ Н}$$

таъсир менамояд, ки аз заряди q_3 сӯйи заряди q_2 самт мегирад.

Ҷавоб: $F = 625 \text{ Н}$.

Мисоли 1.3. Зарядҳои $q_1 = 20 \text{ мкКл}$, $q_2 = 10 \text{ мкКл}$ ва $q_3 = -30 \text{ мкКл}$ дар қуллаҳои секунҷаи росткунҷа тавре ки дар расми 1.7 а тасвир ёфтааст, ҷойгиранд. Бузургӣ ва самти қувваи натиҷавие, ки ба заряди q_1 аз ҷониби ду зарядҳои дигар таъсир мекунад, ёфта шавад.

Маълумот:

$q_1 = 20 \text{ мкКл} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Кл}$
$q_2 = 10 \text{ мкКл} = 10^{-5} \text{ Кл}$
$q_3 = -30 \text{ мкКл} = -3 \cdot 10^{-5} \text{ Кл}$
$r_{12} = 30 \text{ см} = 0,3 \text{ м}$
$r_{13} = 60 \text{ см} = 0,6 \text{ м}$
$F_1 - ?$

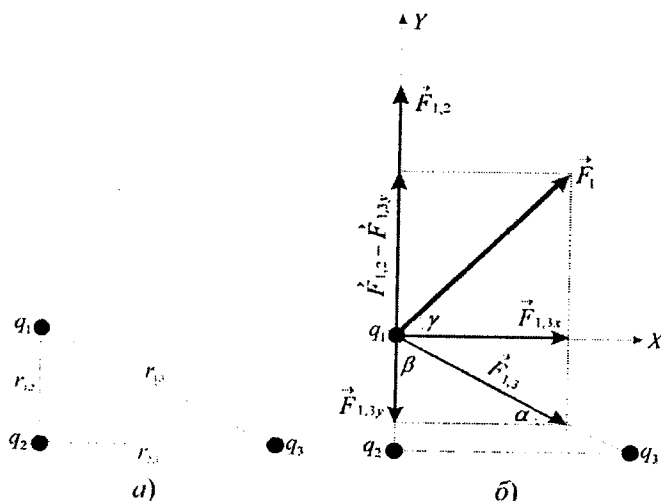
Ҳал

Ба заряди q_1 аз ҷониби заряди q_2 қувваи теладиҳии (расми 1,7 б):

$$F_{1,2} = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r_{1,2}^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2} \frac{2 \cdot 10^{-5} \text{ Кл} \cdot 10^{-5} \text{ Кл}}{(0,3 \text{ м})^2} = 20 \text{ Н}$$

амудан ба боло таъсир мекунад. Ба заряди q_1 аз ҷониби заряди q_3 қувваи ҷозибавӣ $F_{1,3}$ таъсир мерасонад, ки аз рӯи гипотенузаи секунҷаи q_3 равонааст:

$$F_{1,3} = k \frac{|q_1| \cdot |q_3|}{r_{1,3}^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{2 \cdot 10^{-5} \cdot 3 \cdot 10^{-5}}{36 \cdot 10^{-2}} = 15 \text{ Н}.$$



Расми 1.7

221955

Азбаски катети ба кунчи α муқобилхобидаи секунҷа r_{21} ба нисфи гипотенузаи r_{31} баробар аст, $\alpha = 30^\circ$ буданаш маълум мегардад. Пас, кунчи $\beta = 60^\circ$ мебошад.

Акнун қувваи $\vec{F}_{1,3}$ —ро ба ду ташкилдиҳанда тақсим менамоем, ки яке ба рафти тири X равона бошад:

$$F_{1,3x} = F_{1,3} \sin \beta = 15 \cdot \sin 60^\circ = 15 \cdot 0,866 = 7,5\sqrt{3} \text{ Н}.$$

Ташкилдиҳандаи дуюм:

$$F_{1,3y} = F_{1,3} \cos 120^\circ = -F_{1,3} \sin 30^\circ = -15 \cdot 0,5 = -7,5 \text{ Н}$$

ба муқобили рафти тири Y самт дорад. Аз ин рӯ қувваи натиҷавие, ки суйи меҳвари Y равонааст:

$$F_{1,y} = F_{1,2x} - F_{1,3y} = 20 \text{ Н} - 7,5 \text{ Н} = 12,5 \text{ Н}$$

мебошад. Пас, қувваи натиҷавие, ки ба заряди q_1 таъсир менамояд, бо дарозии гипотенузаи секунҷаи росткунҷаи катетҳояш $F_{1,3y}$ ва $F_{1,y}$ тасвир карда мешавад:

$$\begin{aligned} F_1 &= \sqrt{F_{1,y}^2 + F_{1,3x}^2} = \sqrt{12,5^2 + (7,5\sqrt{3})^2} \text{ Н} = \\ &= \sqrt{156,25 + 168,75} \text{ Н} = \sqrt{325} \text{ Н} \approx 18 \text{ Н}. \end{aligned}$$

Акнун ёфтани кунчи γ , ки вектори қувваи $\vec{F}_1$ бо меҳвари X (самти уфуқӣ) ташкил медиҳад, душвор нест:

$$\operatorname{tg} \gamma = F_{1,y} / F_{1,3x} = 12,5 \text{ Н} / 7,5\sqrt{3} \text{ Н} \approx 0,9623;$$

аз ин ҷо $\gamma = \arctg 0,9623 \approx 44^\circ$.

Ҷавоб: $F_1 \approx 18 \text{ Н}$; $\gamma = 44^\circ$.

§1.3. Майдони электрӣ. Шадиияти майдони электрӣ

Фазои атрофи ҷисми заряднок назар ба фазои ҳамин гуна ҷисми безаряд ҳосиятҳои нав пайдо мекунад. Масалан, агар ба ҷисми заряднок ҷисми дигари хурди заряднокро, ки *заряди озмоишӣ*^{*)} меноманд, наздик орем, он дучори таъсирот мешавад. Ба ин муносибат меғӯянд, ки дар атрофи ҳар гуна ҷисми заряднок майдони электрӣ вучуд дорад. Ин майдонро тавассути қуввае, ки аз ҷониби майдон ба заряди озмоишӣ таъсир мекунад, ошкор месозанд. Ҳамин аст, ки ҷисмҳои заряднок дар масофа ба ҳамдигар ба воситаи майдонҳояшон таъсир мерасонанд.

Ба заряди озмоишӣ аз ҷониби майдон ҳар қадар қувваи зиёд таъсир расонад, майдон ҳамон қадар пурзӯр буданаш маълум мегардад.

с

*) Заряди озмоишӣ мисли пӯк ё когазпораест, ки ба оби дарё мепартоянду суръати ҷараёни онро ҷен мекунад, ва ба ин суръат ҳеҷ гуна тағйироте ворид намесозад. Айнан ҳамин тавр заряди озмоишӣ ба фазое, ки ворид карда мешавад, ҳосиятҳои фазоро тағйир намедиҳад.

Майдони заряди нуктавиरो тадқиқ кардан осонтар аст. Барои ин, масалан аз заряди нуктавии q дар масофаи r заряди озмоишии q_0 - ро ҷойгир месозем. Ба он қувваи кулонии:

$$F = k \frac{|q| \cdot |q_0|}{\varepsilon r^2}$$

таъсир менамояд.

Акнун агар ба ҷойи q_0 бо навбат зарядҳои озмоишии $q_1, q_2, \dots, q_n$ - ро гузорем, онҳо дучори таъсироти қувваҳои гуногуни:

$$F_1 = k \frac{|q| \cdot |q_1|}{\varepsilon \cdot r^2}, F_2 = k \frac{|q| \cdot |q_2|}{\varepsilon \cdot r^2}, \dots, F_n = k \frac{|q| \cdot |q_n|}{\varepsilon \cdot r^2}$$

мегарданд, вале нисбатҳои $F/q_0, F_1/q_1, F_2/q_2, \dots, F_n/q_n$ ба бузургии зарядҳои озмоишӣ вобаста нестанд:

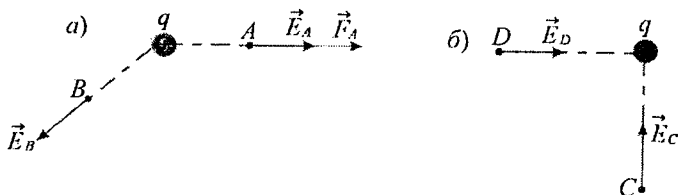
$$\frac{F}{q_0} = \frac{F_1}{q_1} = \frac{F_2}{q_2} = \dots = \frac{F_n}{q_n} = k \frac{|q|}{\varepsilon \cdot r^2}. \quad (1.7)$$

Ин нисбатҳо танҳо ба бузургии заряде, ки майдонаш тадқиқ меёбад, инчунин масофа аз ин заряд то нуктаи муайяни майдон вобаста мебошад. Бо ин сабаб нисбати қуввае, ки ба заряди озмоишӣ аз ҷониби майдон таъсир мекунад, бар заряди озмоишӣ ҳамчун бузургии тавсифдиҳандаи қуввагии ин майдон қабул шудааст ва он *шадидияти майдон электрӣ* ном дорад. Аз ин рӯ шадидияти майдони электрӣ бузургии векторист ва онро бо ҳарфи $\vec{E}$ ишорат кардан маълум гаштааст:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}. \quad (1.8)$$

Яъне, шадидияти майдони электрӣ дар ягон нуктаи майдон қувваеро муайян мекунад, ки ба заряди мусбати воҳидии дар ин нукта ҷойгирбуда ($q = 1 \text{ Кл}$) таъсир мерасонад.

Вектори шадидият дар нуктаи муайяни майдон бо вектори қувваи ба заряди мусбати дар ин нукта ҷойгирбуда таъсировар ҳамсамт аст (расми 1.8, а, б).



Расми 1.8

Воҳиди шадидият дар СИ мувофиқи формулаи (1.8) муқаррар карда мешавад ва 1 В/м (вольт бар метр) мебошад; $1 \text{ В/м} = 1 \text{ Н/Кл}$, яъне 1 В/м - шадидияти нуктаи майдонест, ки дар он ба заряди 1 Кл аз ҷониби ин майдон қувваи 1 Н таъсир мекунад. (Дар системаи

вохидҳои СГС воҳиди шадидият 1 СГС_E буд, ки ба $3 \cdot 10^4 \text{ В/м}$ баробар гардидашро муқаррар кардаанд).

Ҳамин тариқ, дар майдони электрии дилҳоҳ чун дар майдони электрии заряди нуқтавӣ ба ҳар гуна заряди q қуввае таъсир менамояд, ки қувваи электрӣ ном дорад ва он бо формулаи:

$$\vec{F} = q\vec{E} \quad (1.9)$$

муайян карда мешавад.

Мувофиқи баробарии (1.7) бузургии шадидияти майдони электрии заряди нуқтавӣ q - ро дар масофаи r аз он бо формулаи:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{|q|}{\epsilon \cdot r^2} \quad (1.10)$$

муайян мекунам.

Ҳотирасон кардан лозим аст, ки майдони электрӣ навъи махсуси материя буда, ҳақиқати воқеӣ доништа мешавад. Ҷояи майдонро олими номбурдаи англис М. Фарадей ворид карда буд ва мафҳуми майдон яке аз дастовардҳои асоситарини илми муосир мебошад.

§ 1.4. Принсипи суперпозитсияи майдонҳо. Майдони диполи электрӣ

Вазифаи асосии электростатика – қисми *электродинамика* аст, ки майдони зарядҳои ором (беҳаракат) - ро меомӯзад, аз рӯи бузургӣ ва тақсимоти манбаи майдони электрӣ - зарядҳо, муайян кардани модули ва самти шадидият дар ҳар як нуқтаи майдон мебошад. Барои ҳалли ин масъала қўидаи ҷамъбандии майдонҳо, ки *принсипи суперпозитсияи майдонҳо* (аз сухани латинии superpositio-болои ҳам гузоштан) ном дораду тавассути таҷрибаҳо муқаррар карда шудааст, нақши калон мебозад.

Агар майдони электрӣ дар атрофи системаи зарядҳо вучуд дошта бошад, он гоҳ шадидияти натиҷавӣ дар нуқтаи муайяни он ба ҳосили ҷамъи векторӣ (геометрӣ) - и шадидиятҳои ҳар як заряди система дар ҳамин нуқта баробар мебошад:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i. \quad (1.11)$$

Ҳамин аст, моҳияти принсипи суперпозитсияи майдонҳо.

Ҳамчун намунаи татбиқи принсипи суперпозитсияи шадидияти майдони диполи электро муҳокима менамоем. Системаи ду заряди гуногунҷинси микдоран баробар, ки аз ҳам дар фосилаи хеле хурди амалан бетағйир ҷойгиранд, *диполи электрӣ* (аз суханҳои юнонии di(s)- дучанда ва poles - кутб) ном дорад (қайд кардан бамаврид аст, ки аксари молекулаҳои ғайрисимметрӣ ба монанди CO , HCl , H_2O , NO_2 ...-ро чун диполи электрӣ қабул кардан раво аст, зеро дар ин гуна молекулаҳо «марказҳои» зарядҳои мусбату манфӣ ҳамчоя нестанд, ҳарчанд молекулаҳо зарраҳои нейтралӣанд).

Агар фосилаи байни зарядҳои дипол l бошад, бузургии

$$p_e = |q|l \quad (1.12)$$

моменти дипол ном гирифтааст ва он ҳамчун бузургии векторӣ доништа мешавад: вектори моменти диполи электрӣ $\vec{p}_e$ аз заряди манфӣ суйи заряди мусбат самт мегирад (расми 1.9). Хати росте, ки харду зарядро васл менамояд, *меҳвари дипол* ном дорад. Воҳиди моменти дипол дар СИ 1 Кл·м буданааш аз ифодаи (1.12) бармеояд.



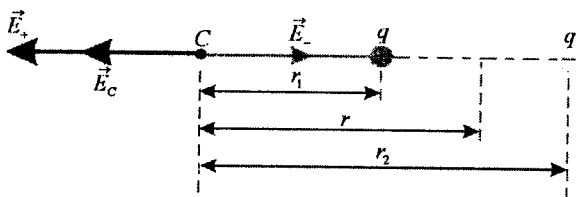
Расми 1.9

Бузургии моменти диполи электрии молекулахоро тавассути таҷриба муқаррар кардан имконпазир мебошад. Қиматҳои моменти диполи баъзе молекулаҳо дар ҷадвали 2 оварда шудаанд. Аз ин ҷадвал бармеояд, ки моменти диполи молекулаи об хеле калон ($6,2 \cdot 10^{-30}$ Кл·м) аст.

Ҷадвали 2. Моменти диполи баъзе молекулаҳо

Молекула	$p_e \cdot 10^{30}$ Кл·м
CO	0,40
NH ₃	2,60
HCl	3,40
H ₂ O	6,20

Аввало шадидияти майдони диполро дар нуктаи хати росте муайян менамоем, ки дар меҳвари дипол ҷойгир аст (расми 1.10).



Расми 1.10

Чунончӣ, модули шадидияти майдони заряди мусбат дар нуктаи С:

$$|\vec{E}_+| = k \frac{|q|}{r_1^2} = k \frac{|q|}{\left(r - \frac{l}{2}\right)^2},$$

ва заряди манфии дипол дар ҳамин нукта:

$$|\vec{E}_-| = k \frac{|q|}{r_2^2} = k \frac{|q|}{\left(r + \frac{l}{2}\right)^2}$$

мебошанд, ки ба ҳам муқобилсамтанд (дар ин ифодаҳо r - фосилаи байни маркази дипол ва нуктаи С мебошад). Пас, шадидияти

натичавӣ, мувофиқи принципи суперпозитсияи майдонҳо дар нуктаи C :

$$\vec{E}_C = \vec{E}_+ + \vec{E}_-$$

ва модули он:

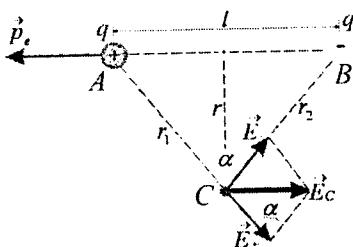
$$E_C = |\vec{E}_+| - |\vec{E}_-| = k \frac{|q|}{\left(r - \frac{l}{2}\right)^2} - k \frac{|q|}{\left(r + \frac{l}{2}\right)^2} = k|q| \frac{\left(r + \frac{l}{2}\right)^2 - \left(r - \frac{l}{2}\right)^2}{\left(r^2 - \frac{l^2}{4}\right)^2} = k \frac{2|q|lr}{\left(r^2 - \frac{l^2}{4}\right)^2}$$

буданаш маълум мегардад. Агар ба эътибор гирем, ки $l \ll r$ аст, он гоҳ $\left(r^2 - \frac{l^2}{4}\right)^2 \approx r^4$ ва $|q|l = p_e$ қабул кардан мумкин аст, аз ин рӯ ифодаи зерин ҳосил мешавад:

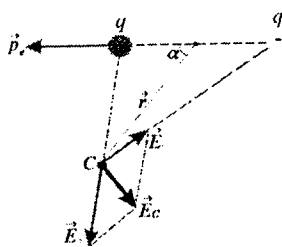
$$\vec{E}_C = k \frac{2\vec{p}_e}{r^3} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2\vec{p}_e}{r^3}. \quad (1.13)$$

Векторҳои $\vec{E}_C$ ва $\vec{p}_e$ ҳамсамт буданашон аз расмҳои 1.9 ва 1.10 намоён аст.

Акнун шадидияти майдони диполро дар нуктае меёбем, ки он дар хати ростии аз миёнҷойи меҳвари дипол гузаронидаву ба ин меҳвар амуд ҷойгир мебошад (расми 1.11).



Расми 1.11



Расми 1.12

Мувофиқи принципи суперпозитсия:

$$\vec{E}_C = \vec{E}_+ + \vec{E}_-$$

ва

$$|\vec{E}_+| = |\vec{E}_-| = k \frac{|q|}{r_1^2} = k \frac{|q|}{r_2^2}$$

мебошанд. Барои муайян кардани модули $\vec{E}_C$ ба эътибор мегирем, ки секунҷаҳои ABC ва $CE_C E_+$ (инчунин $CE_C E_-$) ба ҳам монанд мебошанд, зеро кунҷи назди қуллаҳо α ва ду кунҷи боқимонда низ баробаранд, аз ин рӯ таносуби зерин ҷой дорад:

$$\frac{|\vec{E}_C|}{|\vec{E}_+|} = \frac{l}{r_1},$$

аз ин ҷо:

$$E_c = k \frac{|q|l}{r_1^3} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{p_e}{r_1^2}$$

Азбаски $l \ll r$ мебошад, $r_1 = \sqrt{r^2 + \frac{l^2}{4}} \approx r$ қабул кардан раво аст, аз ин рӯ барои модули шадидияти майдони электрии дипол дар нуктаи C ифодаи зерин ҳосил мешавад:

$$E_c = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{p_e}{r} \quad (1.14)$$

Аз муқоисаи (1.13) ва (1.14) бармеояд, ки шадидияти майдони электрии дипол дар нуктаҳои хати ростӣ аз миёнҷойи меҳвари дипол гузаронидаву ба ин меҳвар амудӣ назар дар нуктаҳои хати ростӣ ба рафти меҳвар раво буда ду маротиба (дар ҳамаҷон як масофаи r) кам аст. Ба тӯфайли он, ки векторҳои $\vec{E}_+$ ва $\vec{E}_-$ нисбат ба $\vec{E}_c$ симметрианд, вектори шадидияти натиҷавӣ $\vec{E}_c$ ба $\vec{p}_e$ муқобилсамт буданаш бармеояд. Дар мавриди умумӣ, яъне дар нуктаи дилҳоҳ C (расми 1.12) аз маркази дипол (фақат ба шарти $l \ll r$) модули шадидияти натиҷавии диполи электрӣ бо формулаи:

$$E_c = \frac{p_e}{4\pi\epsilon_0 r^3} \sqrt{1 + 3\cos^2 \alpha} \quad (1.15)$$

муайян карда мешавад, ки аз ҷумла ҳар ду мавриди дар боло овардари дарбар мегирад.

Ҳарчанд ҳаргуна молекула аз ҷиҳати электрӣ нейтралӣ аст, дар ҳоли ғайрисимметрӣ будан ин гуна молекулаҳо дар атрофи худ майдони электрии ба вучуд меоранд, ки шадидияти он ба кубӣ масофа чаппа мутаносибан кам шуда меравад (ба хотир меорем, ки шадидияти майдони заряди нуктавӣ ба квадрати масофа аз он мутаносибӣ чаппа аст).

Мисоли 1.4. Чорто заряди микдоран баробар дар қуллаҳои квадрати тарафаш a ҷойгиранд. Шадидияти натиҷавии майдони ин зарядҳо дар нуктаи маркази ин квадрат чӣ қадар аст? Мавридҳои: 1) дар ду қулла зарядҳои мусбат; дар ду қуллаи дигар манфӣ; 2) зарядҳо яке дар миён (q_+ , q_- , q_+ , q_-); 3) дар се қулла зарядҳои мусбат; дар яктоаш манфӣ; 4) дар се қулла зарядҳои манфӣ; дар яктоаш мусбат; 5) дар ҳама қуллаҳо зарядҳои мусбат; 6) дар ҳар чор қулла зарядҳои манфӣ ҷойгир будан муҳокима карда шавад.

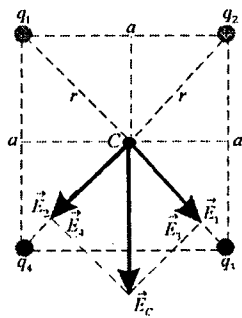
Маълумот:

$$\begin{array}{|l} |q_1| = |q_2| = |q_3| = |q_4| = |q| \\ a_1 = a_2 = a_3 = a_4 = a \\ \hline \vec{E}_c - ? \end{array}$$

Ҳал

Модулҳои шадидияти майдони ҳар чор заряд дар маркази квадрат ба тӯфайли баробар будани бузургии зарядҳо ва фосилаҳои онҳо то марказ ($r_1 = r_2 = r_3 = r_4 = r$) ҳамаҷон як қимат доранд:

$$E = |\vec{E}_1| = |\vec{E}_2| = |\vec{E}_3| = |\vec{E}_4| = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2}. \quad (1)$$



Расми 1.13

Аз расми 1.13 (мувофиқи теоремаи Пифагор):

$$r^2 = \frac{a^2}{4} + \frac{a^2}{4} = \frac{a^2}{2}$$

буданастро ба эътибор мегирем, аз ин рӯ:

$$E = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{a^2} \quad (2)$$

аст.

Агар қойидаи ёфтани самти вектори шадидиятро ба назар гирем, дар маркази квадрат сӯйи зарядҳои манфӣ векторҳои модулан ба $2E$ баробар (ба расми 1.13 нигаред) равонаанд ва модули вектори шадидияти натиҷавӣ $\vec{E}_c$ чун гипотенузаи секунҷаи росткунҷаи баробарпахлӯи катетҳояш $2E$ ёфта мешавад:

$$E_c = \sqrt{4E^2 + 4E^2} = 2\sqrt{2}E = \frac{\sqrt{2}q}{\pi\epsilon_0 a^2}. \quad (3)$$

Вектори $\vec{E}_c$ аз маркази квадрат ибтидо гирифта, ба рафти хати ростии аз миёнҷойи фосилаи байни зарядҳои манфӣ гузаранда равона аст.

Бо истифодаи ин натиҷаҳо ҳалли мавридҳои боқимондари ёфтани чандон душвор нест ва онҳоро ба донишҷӯёни шавқманд ба сифати машқи мустақилона тавсия медиҳему бо овардани ҷавобҳо маҳдуд мешавем: 2) $E_c = 0$; 3) $E_c = 2E$ ва $\vec{E}_c$ сӯйи заряди манфӣ самт мегирад; 4) $E_c = 2E$ ва $\vec{E}_c$ сӯйи заряди манфии миёна (муқобили заряди мусбат); 5) $E_c = 0$; 6) $E_c = 0$.

Мисоли 1.5. Зарядҳо дар силиндри бориқи ростии беохир дароз (сим) мунтазам ва бо зичии ҳатии λ (лямбда хонда мешавад) ҷойгиранд. Шадидияти майдони ин силиндр дар масофаи x (расми 1.14) аз он чӣ қадар аст?

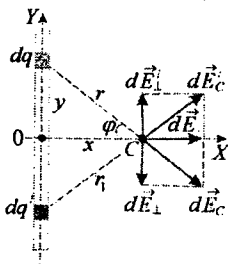
Маълумот:

$$\lambda = \frac{q}{l}, \quad x$$

$$\vec{E} = ?$$

Ҳал

Дар цилиндр китъаи хеле хурди зарядаш dq - ро ҷудо мекунем, ки онро ба сифати заряди нуқтавӣ пиндоштан раво бошад (расми 1.14).



Расми 1.14

Модули шадидияти майдони ин заряд дар нуқтаи C:

$$|dE_C| = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{r^2} \quad (1)$$

мебошад. Системаи координатаҳоро тавре ҷойгир менамоем, ки меҳвари Y ба рафти сим равонаву ибтидои сарҳисоб дар нуқтаи O воқеъ гардад. Он гоҳ $dq = \lambda dy$ буданаширо ба эътибор мегирем.

Вектори $d\vec{E}_C$ - ро ба ду ташкилдиҳанда ҷудо мекунем:

$$|d\vec{E}_{||}| = |d\vec{E}_C| \cos \varphi; \quad |d\vec{E}_{\perp}| = |d\vec{E}_C| \sin \varphi, \quad (2)$$

ки яке $d\vec{E}_{||}$ ба самти меҳвари X равонаасту дигаре $d\vec{E}_{\perp}$ ба он амуд. Бо сабаби беохир дароз будани сим дар он заряди нуқтавии dq' - и аз поёни ба dq симметрии ҷойгирбуда мавҷуд аст, ки ташкилдиҳандаи $d\vec{E}'_{\perp}$ ба $d\vec{E}_{\perp}$ муқобилсамт асту ҳосили ҷамъи онҳо баробари сифр мешавад, яъне онҳо ба шадидияти натиҷавӣ саҳм надоранд ($|E_{\perp}| = \int dE_{\perp} = 0$). Аз ин рӯ шадидияти натиҷавӣ $\vec{E}$ сӯи меҳвари X равона асту ҷамъи векториҳои қулли $d\vec{E}_{||}$ -хоро ба туфайли мунтазам тақсим гардидани зарядҳо бо ёрии ҳисоби интегралӣ ёфтан мумкин мебошад:

$$E = \int |d\vec{E}_{||}| = \int |d\vec{E}| \cos \varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{dq}{r^2} \cos \varphi = \frac{\lambda}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{dy}{r^2} \cos \varphi. \quad (2)$$

Акнун ба эътибор мегирем, ки $y = x \tan \varphi$, $r = \frac{x}{\cos \varphi}$, $dy = \frac{x d\varphi}{\cos^2 \varphi}$ мебошанд ва бо сабаби беохир будани сим кунҷи φ аз $-\pi/2$ то $+\pi/2$ қимат гирифта метавонад. Аз ин рӯ:

$$E = \frac{\lambda}{4\pi\epsilon_0 x} \int_{-\pi/2}^{+\pi/2} \cos \varphi d\varphi = \frac{\lambda}{4\pi\epsilon_0 x} (\sin \varphi) \Big|_{-\pi/2}^{+\pi/2} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \frac{\lambda}{x} \quad (1.16)$$

буданаш маълум мегардад, зеро барои нуктаи C , ки мо дар он шадидиятро мауяйн менамоем, масофаи x бетағйир аст.

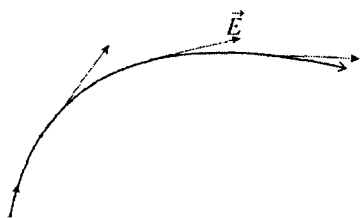
§1.5. Хатҳои шадидият. Сели вектори шадидияти майдони электрӣ

Барои тадқиқи майдони электрӣ самт ва модули вектори шадидиятро дар ҳар як нуктаи ин майдон чун функсияи координатаҳо муқаррар кардан мебошад. Ин амал, хусусан барои майдони маҷмӯӣи зарядҳо чандон осон нест. Зеро дар нуктаҳои гуногун сохтасозии векторҳои бисёрро талаб менамояд. Векторҳо болои ҳам хобида манзараи мураккабро ташкил дода метавонанд ва ҳисобу китоби шадидияти натиҷавӣ масъалаи мушқиле мешавад. Дар ҳалли соддатари ин масъала усули тавассути ба ном *хатҳои шадидият* ё *хатҳои қуввагӣ* тасвир сохтани майдон, ки ханӯз М. Фарадей пешниҳод карда буд, хеле мусоид аст.

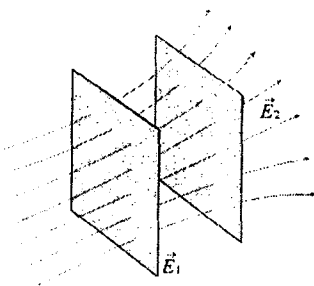
Хатҳои шадидият гуфта хатҳоеро мефаҳманд, ки вектори шадидият дар ҳар нуктаи онҳо аз рӯи расанда самт мегирад (расми 1.17).

Азбаски расанда ду самт дорад, ба хатҳои шадидият самти муайян медиҳанд. Ин хатҳо дар майдони электростатикӣ аз зарядҳои мусбат ибтидо гирифта, дар зарядҳои манфӣ тамом мешаванд ё ба беҳири мераванд. Хатҳои шадидият ҳеҷ гоҳ якдигарро намебуранд, вагарна дар як нуктаи буриш ҳамзамон шадидият ду самт медошт.

Зичии хатҳои шадидиятро шартан тавре гузаронанд, ки теъдоди хатҳои сатҳи воҳидӣ (1 м^2) - и ба ин хатҳо амудан воқеъбударо бурида гузаранда ба модули шадидият дар он маҳал баробар бошад (расми 1.18).



Расми 1.17



Расми 1.18

Манзараи тақсимои хатҳои шадидиятро ба тарзи таҷрибавӣ намудор кардан имконпазир аст. Барои ин дар ҷое, ки тадқиқ кардани майдон зарур бошад, ягон диэлектрики моеъ, масалан равшан паҳн намуда, ба он қисмҳои хурд, аз ҷумла ҳиссаҳои якчанд миллиметрии мӯйи бурида, ярмаи дили гандум, гачмайдаҳо пош медиҳанд. Дар ин ҳиссаҳо зарядҳои индуксионӣ ба вучуд омада, дар натиҷаи ҷозибаву талаҳӯрӣ он ҳиссаҳо чун занҷир ба рафти хатҳои шадидият саф мекашанду хатҳоро гӯё намудор мегардонанд. Ҳамин аст, ки ин усулро барои тадқиқи таҷрибавии майдонҳои гуногуни электростатикӣ васеъ истифода мебаранд. Дар расми 1.19 манзараҳои бо ин усул муқаррар кардаи баъзе майдонҳо оварда шудаанд: а) заряди мусбати нуктавии танҳо; б) ду заряди нуктавии якнавъ

(мусбат), ки ба ҳам наздик ҷойгиранд; в) диполи электрӣ; г) ду лавҳаи металли параллелан ҷойгирбудаи гуногуннавъ заряднок (конденсатори ҳамвор).

Агар хатҳои шадидияти майдон параллелан ва мунтазам ҷойгир бошанд, ин гуна *майдони соддатарини электростатикиро* якҷинса меноманд. Дар расми 1.19 *г* мисоли майдони якҷинса (ғайр аз нӯғҳо дар конденсатори ҳамвор майдони якҷинса) оварда шудааст. Майдони якҷинсаро зарядҳои дар сатҳи мунтазам тақсимгардида ба вучуд меоранд.

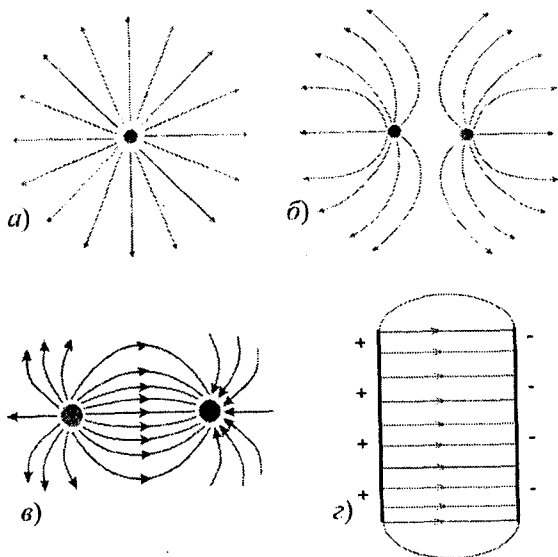
Тавре ки зикр ёфт, зичии хатҳои шадидият дар ҳар як маҳали майдон кимат (модул) - и шадидиятро дар он муайян менамояд:

$$|\vec{E}| = \frac{\text{теъдоди хатҳои сатҳи амудиро бурида}}{\text{масоҳати сатҳи ба хатҳои шадидият амуд}}$$

Ба ин муносибат дар электростатика мафҳуми *сели шадидият* чун теъдоди хатҳои сатҳи муайянро бурида гузаранда васеъ истифода мешавад. Сели шадидиятро бо ҳарфи Φ_e ишорат менамоям. Агар сатҳ ба самти хатҳои шадидият на амудан, балки таҳти кунҷе ҷойгир бошад, сели шадидият дар майдони якҷинса бо формулаи:

$$\Phi_e = E S \cos \alpha \quad (1.17)$$

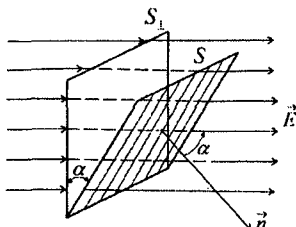
муайян карда мешавад. Дар ин формула α - кунҷи байни нормал ба сатҳи S ва вектори шадидият $\vec{E}$ мебошад (расми 1.20), дар он ду сатҳ: $S_{\perp}$, ки ба хатҳои шадидият амудан ва S - сатҳи ба $S_{\perp}$ таҳти кунҷи α ҷойгирбуда тасвир ёфтаанд).



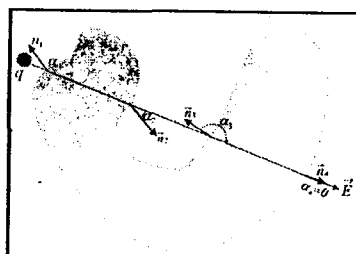
Расми 1.19

Бояд қайд кард, ки сели шадидият бузургии скалярӣ аст: агар $\alpha < 90^\circ$ бошад, сел мусбатӣ дар мавриди $\alpha > 90^\circ$ он манфӣ ҳисоб

меёбад. Чунончӣ, якто хати шадидият сатҳи сарбасти шаклаш ихтиёриро бурида мегузарад (расми 1.21); одатан дар ин маврид нормал ба сатҳ аз дарун ба берун гузаронида мешавад. Дар ин расм хати шадидият сатҳи сарбастро чор маротиба бурида мегузарад: $\alpha_1 > 90^\circ$ ($\Phi_{e1} < 0$), $\alpha_2 > 0^\circ$ ($\Phi_{e2} > 0$), $\alpha_3 > 90^\circ$ ($\Phi_{e3} < 0$): хангоми ҳисоби сели натиҷавӣ онро ду маротиб мусбату ду маротибаи дигар манфӣ қабул менамоем, ки дар ҳосили чамъ сифр медиҳад. Пас, сели хатҳои шадидияти майдони зарядҳои аз сатҳи сарбасти шаклаш ихтиёрӣ дар берун ҷойгирбуда ҳар гоҳ баробари сифр мебошад.



Расми 1.20



Расми 1.21

Агар сатҳи S дар майдони ғайриҷамъинсӣ ҷойгир бошад, онро ба қитъаҳои хурди ΔS_i тақсим карда, барои ҳар яке сели элементарии $\Delta \Phi_{ei}$ - ро мувофиқи формулаи (1.17) ба ҳисоб мегиранд. Он гоҳ сели умумии тамоми сатҳро буранда:

$$\Phi_e = \sum_{i=1}^n E_i \Delta S_i \cos \alpha \quad (1.18)$$

мешавад. Ин селро одатан тавассути ҳисоби интегралӣ меёбанд:

$$\Phi_e = \int_S E dS \cos \alpha = \int_S E_n dS, \quad (1.19)$$

ки дар ин ҷо $E_n = E \cos \alpha$ - проексияи вектори шадидият дар нормал ба ин сатҳ аст.

§1.6. Теоремаи Гаусс ва татбиқҳои амалии он

Математик, ситорашинос, физики олмонӣ К.Ф. Гаусс (1777-1855) усули тавассути сели шадидият тадқиқи майдонҳои гуногуни электрию магнитиро пешниҳод карда буд (с. 1839). Дар ин усул теоремае, ки номи ӯро гирифтааст, нақши асосиро мебозад.

Бояд хотирнишон сохт, ки математики рус М.В. Остроградский (1801-1862) ханӯз соли 1828 ин гуна теоремаро барои сели гармӣ исбот карда буд. Ҳамин аст, ки саҳми ҳар ду олимро ба назар гирифта, онро чун *теоремаи Остроградский-Гаусс* пешниҳод кардан аз рӯи инсоф мебуд.

Теоремаи Гаусс таносуби байни сели шадидияти майдони электрӣ аз сатҳи сарбасти шаклаш ихтиёрӣ ва миқдори заряди андаруни ин сатҳ воқеъгардидаро муқаррар менамояду ба тарзи математикӣ чунин ифода меёбад:

$$\Phi_e = \oint_S E_n dS = \oint_S E dS \cos \alpha = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_{i=1}^N q_i, \quad (1.20)$$

Дар ин ҷо $\oint$ - аломати ҳисоби интегралӣ аз сатҳи сарбасти S , $\sum_{i=1}^N q_i$ - ҳосили ҷамъи алгебравии кулли зарядҳоеро мефаҳмонад, ки он сатҳ дарбар гирифтааст.

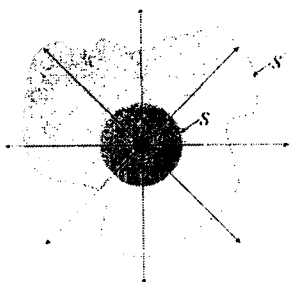
Агар сатҳи сарбасти зарядҳоро дарбар нагирад, сели шадидияти майдони онҳо аз ин сатҳ баробари сифр буданастро дар §1.5 таъкид карда будем. Исроти теоремаи Гаусс барои сатҳи сферавии радиусаш ихтиёрӣ, ки дар марказаш заряди нуқтавӣ ҷойгир аст, чандон душвор нест. Дарвоқеъ, кулли нуқтаҳои сатҳи сферӣ аз заряди q дар ҳамон як масофаи r ҷойгир буда, ҳамаи шадидияти ин заряд аз рӯи радиусҳои сфера равананд ва дар ҳар нуқтаи ин сатҳ ба он амуданд (расми 1.22), яъне $\alpha = 0^\circ$ аст. Аз ин рӯ мувофиқи (1.10):

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2}$$

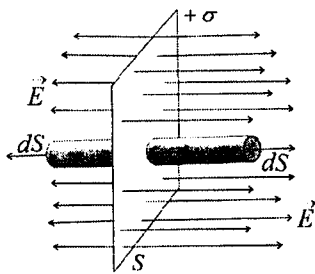
ва

$$\Phi_e = \oint_S E dS = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \oint_S dS = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2} \cdot 4\pi r^2 = \frac{1}{\epsilon_0} q \quad (1.21)$$

мебошад. Лозим ба ёдоварист, ки сели шадидиятро теъдоди ҳамаи сатҳро буранда муайян менамояд. Ҳамин аст, ки сатҳи сарбасти шаклаш ихтиёрӣ ва сатҳи сферавии зарядро дарбаргиранда бо ҳамон як теъдоди ҳамаи бурида мешаванд, ки ададан мувофиқи (1.21) ба q/ϵ_0 баробар аст ва шакли сатҳи S' чандон аҳамият надорад (расми 1.22).



Расми 1.22



Расми 1.23

Агар сатҳи сарбасти системаи зарядҳои нуқтавиро дарбар гирифта бошад, барои ҳар як заряди алоҳидаи система формулаи (1.21) - ро татбиқ менамоем:

$$\Phi_{ei} = \oint_S E_i dS = \frac{1}{\epsilon_0} q_i$$

ва принципи суперпозитсияи майдонҳоро истифода бурда,

$$\Phi_e = \oint_S E dS = \sum_{i=1}^N \oint_S E_{in} dS = \oint_S \sum_{i=1}^N E_{in} dS = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_{i=1}^N q_i$$

буданаширо тасдиқ карда метавонем.

Акнун якчанд намунаи татбиқи амалии теоремаи Гаусс барои ҳисобу китоби шадидияти баъзе майдонҳоро дар вакуум меорем:

1. Шадиияти майдони зарядҳои дар ҳамвориин беохир мунтазам бо зичии сатҳии $\sigma = q/S$ (Кл/м²) тақсимшуда.

Дар мавриди мунтазам тақсим шудани зарядҳо, тавре ки тадқиқи майдон бо ёрии хатҳои шадиият собит менамояд, шадиияти майдони ин гуна ҳамворӣ ба он амудан равонаву ба ҳам параллеланд, яъне майдони ҳамвориин беохир мунтазам заряднок яқинса аст (расми 1.23).

Бузургии шадиияти ин ҳамвориро тавассути татбиқи теоремаи Гаусс муайян карда метавонем. Барои ин сатҳи сарбастӣ ёридохандаи силиндрро интихоб менамоем, ки ҳамвориро амудан бурида мегузарад (расми 1.23). Агар ба эътибор гирем, ки сели шадиият аз сатҳи паҳлӯии цилиндр баробари сифр аст, зеро хатҳои шадиият ва ташкилдиҳандаи цилиндр параллелан равонаанд ва сел танҳо аз ду буришгоҳи цилиндр dS вучуд дорад. Аз ин рӯ

$$\Phi_e = 2 \oint E_n dS = 2 E \oint dS = 2 E S = \frac{1}{\epsilon_0} q,$$

ки дар ин ҷо q - миқдори заряди ҳамворӣ асту $q = \sigma S$ буданаширо ба назар гирифта, шадииятро меёбем:

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}. \quad (1.22)$$

Пас, шадиияти майдони ҳамвориин мунтазам заряднок ба масофа вобаста набуда, танҳо бо зичии сатҳии заряди ҳамворӣ муайян карда мешавад.

2. Шадиияти майдони ду ҳамвориин беохир параллелии мунтазам, вале гуногунҷинс заряднок.

Майдонҳои ҳар як ҳамворӣ яқинса ва хатҳои шадиияти онҳо параллелию муқобилсамт буданаширо ба эътибор гирифта, мувофиқи принсипи суперпозицияи майдонҳо шадиияти натиҷавиро муайян карда метавонем. (расми 1.24).

Ҳази атрофи ҳамвориҳоро ба се қитъа ҷудо мекунем. Аз расми 1.24 ҳувайдост, ки хатҳои шадиият дар мобайни ҳамвориҳо (қитъаи 2) ба ҳамон як сӯй - аз заряди мусбат ба ҷониби зарядҳои манфӣ равонаанду дар берун (қитъаҳои 1 ва 3) - муқобилсамтанд, аз ин рӯ

$$|\vec{E}_I| = |\vec{E}_+| - |\vec{E}_-| = |\vec{E}_{III}| = \frac{|\sigma|}{2\epsilon_0} - \frac{|\sigma|}{2\epsilon_0} = 0,$$

$$E = |\vec{E}_{III}| = |\vec{E}_+| + |\vec{E}_-| = \frac{|\sigma|}{2\epsilon_0} + \frac{|\sigma|}{2\epsilon_0} = \frac{\sigma}{\epsilon_0},$$

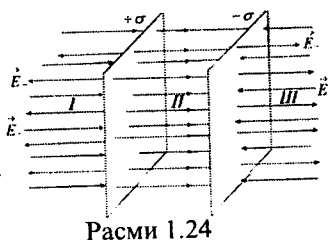
яъне

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \quad (1.23)$$

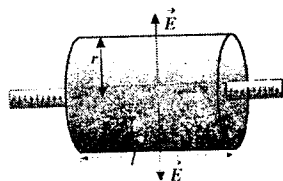
мебошад. Пас, майдони ду ҳамвориин беохир параллелии гуногуннавъ заряднок танҳо дар мобайни ин ду ҳамворӣ вучуд дораду

шадидияташ назар ба шадидияти якто ҳамворӣ 2 маротиба зиёд аст (ин гуна ду лавҳаи ҳамвори металлӣ конденсатори ҳамворро ташкил карданашон таъкид шуда буд).

Ба донишҷӯёни шавқманд тавсия медиҳем, ки мавриди ҳарду ҳамворӣ якнавъ (ҳарду мусбат ё ҳарду манфӣ) заряднокро мустақилона тадқиқ намоянд.



Расми 1.24



Расми 1.25

3. Шадидияти майдони ноқили шаклаш силиндри борику дароз (сим) - и мунтазам бо зичии хаттии $\lambda = q/l$ (Кл/м) заряднок (l - дарозии ноқил, q - заряди он).

Барои татбиқи теоремаи Гаусс ба сифати сатҳи сарбаст силиндри бо ноқил ҳаммеҳвари радиуси асосаш r ва дарозияш l_1 - ро интихоб менамоем (расми 1.25).

Бо сабаби мунтазам заряднок буданаш хатҳои шадидияти майдони ноқил танҳо аз сатҳи паҳлӯии силиндр (масоҳаташ $S_{\text{пахл.}} = 2\pi r l_1$) параллелан мебароянд (дар мавриди манфӣ заряднок будани ноқил хатҳои шадидият ба ин сатҳ ворид шуданашро хотиррасон менамоем). Аз ин рӯ

$$\Phi_e = \oint_{S_{\text{пахл.}}} E_n dS = E \oint_{S_{\text{пахл.}}} dS = E(2\pi r l_1) = \frac{1}{\epsilon_0} q_1$$

(q_1 - заряди силиндр дарбаргирифтаи ноқил аст) ва

$$E = \frac{1}{2\pi\epsilon_0 r l_1} \frac{q_1}{2\pi\epsilon_0 r} \quad (1.24)$$

мебошад. Ин натиҷа формулаи (1.16)-ро тасдиқ менамояд, ки онро бо усули мураккабтар бо ёрии ҳисоби интегралӣ ҳосил карда будем (фақат дар (1.16) ба ҷойи r масофа бо x ишорат шудааст).

4. Майдони сатҳи сферавии радиусаш R , ки мунтазам заряднок аст.

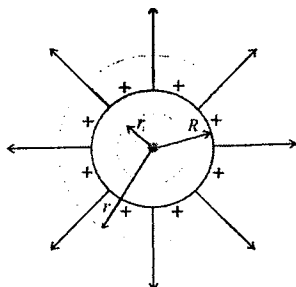
Бо сабаби мунтазам тақсим шудани зарядҳо хатҳои шадидият аз рӯйи радиусҳои сфера самт мегиранд. Аз ин рӯ сели шадидият аз сатҳи сферавии ёридохандаи радиусаш ихтиёрии $r > R$ -и бо сфераи заряднок ҳаммарказ (расми 1.26):

$$\Phi_e = \oint_S E_n dS = E \oint_S dS = E(4\pi r^2) = \frac{1}{\epsilon_0} q$$

ва

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 r^2} q \quad (1.25)$$

буданаш маълум мегардад. Аз муқоисаи формулаҳои (1.25) ва шадидияти майдони заряди нуқтавӣ (1.10) бармеояд, ки шадидияти майдони сфераи мунтазам заряднокро чун шадидияти майдони заряди нуқтавии бузургташ ба заряди сфера баробар ҳисоб кардан раво аст.



Расми 1.26

Агар сфераи ёридохандаи радиусааш r_1 андаруни сфераи заряднок ҷойгир бошад ($r_1 < R$) мувофиқи теоремаи Гаусс сели шадидият аз сатҳи он баробари сифр аст: $E_1(4\pi r_1^2) = 0$, аз ин ҷо $E_1 = 0$ буданаш тасдиқ мешавад. Пас, андаруни сфераи заряднок майдон вучуд надорад. Ин ҳулоса барои аз таъсири майдонҳои берунӣ ҳифз намудани дастгоҳҳои электрӣ, ба хусус асбобҳои андозагири электрӣ, трансформаторҳо истифода бурда мешавад. Одатан сатҳҳои муҳофизии дастгоҳҳои электрӣ ро заминвасла мекунанд.

5. Шадидияти майдони кураи мунтазам бо зичии ҳаҷмӣ $\tau = q/V$ ($\text{Кл}/\text{м}^3$) заряднок.

Азбаски зарядҳо андаруни кура мунтазам тақсим шудаанд, майдони кура нисбат ба марказаш симметрик ва барои ҳар гуна сатҳи сферавӣ ёридохандаи радиусааш $r > R$ – и бо кура ҳаммарказ ҳисобу китобро тавре бояд гузаронд, ки дар мисоли 4 баён ёфта буд. Вале, акнун сфераи ёридохандаи радиусааш $r_1 < R$ микдори муайяни заряди $q_1 = \tau V_1 = \tau \frac{4}{3} \pi r_1^3$ ($V_1 = \frac{4}{3} \pi r_1^3$ – ҳаҷми курачаи радиусааш $r_1 < R$) – ро дарбар мегирад. Аз ин рӯ мувофиқи теоремаи Гаусс:

$$\Phi_{e1} = \oint_{S_1} E_{1n} dS = E_1 \cdot (4\pi r_1^2) = \frac{1}{\epsilon_0} q_1$$

ва дар натиҷа

$$E_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1}{r_1^2} = \frac{1}{3\epsilon_0} \tau r_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{R^3} r_1$$

буданаш маълум мегардад (мо дар ин ҷо ба эътибор гирифтем, ки

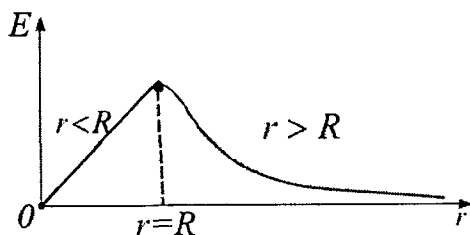
$$q_1 = \tau \frac{4}{3} \pi r_1^3 \text{ ва } q_1 = \frac{q}{\frac{4}{3} \pi R^3} \text{ мебошад}).$$

Ҳамин тарик, дар масофаҳои $r > R$ шадидияти майдони кураи мунтазам зарядноки радиусаш R :

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2}$$

ва дар мавриди $r \leq R$:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{R^3} r \quad (1.26)$$



Расми 1.27

мебошад. Яъне, бо афзудани r аз марказ шадидияти майдони кураи мунтазам заряднок то сарҳади он ($r = R$) хаттӣ зиёд мегардаду сипас дар масофаҳои $r > R$ чун $1/r^2$ кам шуда меравад (расми 1.27).

§ 1.7. Кори кӯчондани заряд дар майдони электростатикӣ

Агар заряди q_0 дар майдони электростатикӣ шадидияташ $\vec{E}$ кӯчида роҳи хурди $d\vec{l}$ - ро паймояд, он гоҳ кори қувваҳои майдон дар ин роҳ:

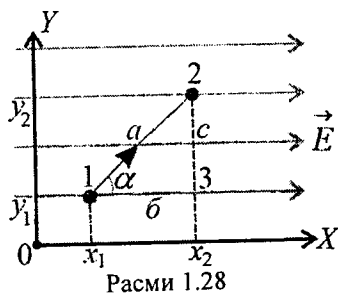
$$\delta A = F d\vec{l} \cos \alpha$$

шуданашро аз қисми механика хотиррасон менамоем, ки дар ин ҷо α - кунҷи байни самтҳои қувва ва ҳаракат аст. Акнун ба эътибор мегирем, ки бузургии қувваи майдони электрӣ $F = q_0 E$ мебошад, аз ин рӯ:

$$\delta A = q_0 E d\vec{l} \cos \alpha = q_0 E_c d\vec{l} \quad (1.27)$$

сабт карда метавонем. Дар ин ҷо $E_c = E \cos \alpha$ проексияи вектори шадидият $\vec{E}$ дар самти ҳаракат аст.

Дар майдони якҷинса ҳисоб кардани кори қувва чандон душвор нест. Фарз мекунем, ки заряди q_0 аз нуқтаи 1 то нуқтаи 2 мекӯчад. Ду роҳи гуногуни кӯчиш: 1) $1 \rightarrow a \rightarrow 2$ ва 2) $1 \rightarrow 3 \rightarrow 2$ - ро интихоб менамоем (расми 1.28).



Расми 1.28

Дар роҳи аввал кори:

$$A_{1 \rightarrow a \rightarrow 2} = q_0 E s \cos \alpha$$

ичро мешавад, ки дар он s – роҳи $1 \rightarrow a \rightarrow 2$ аст. Аз расми 1.28 ҳувайдост, ки $s \cos \alpha = x_2 - x_1$ ва аз ин рӯ:

$$A_{1 \rightarrow a \rightarrow 2} = q_0 E (x_2 - x_1). \quad (1.28)$$

мебошад.

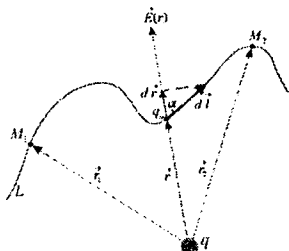
Роҳи дуюмро ба ду қитъаи алоҳида ҷудо карда, ҳисоби корро содда мегардонем:

$$A_{1 \rightarrow 3 \rightarrow 2} = A_{1 \rightarrow 3} + A_{3 \rightarrow 2} = q_0 E (x_2 - x_1) \cos 0^\circ + q_0 E (y_2 - y_1) \cos 90^\circ = \quad (1.28')$$

$$= q_0 E (x_2 - x_1) + 0 = q_0 E (x_2 - x_1).$$

Аз муқоисаи формулаҳои (1.28) ва (1.28') бармеояд, ки кори қувва дар майдони якҷинсаи шадидияташ $\vec{E}$ ба шакли траекторияи ҳаракат вобаста набуда, танҳо бо мавқеи нуқта дар интиҳо ва ибтидои роҳ муайян карда мешавад.

Акнун кори қуввахоро дар майдони ғайриҷинса, масалан дар майдони заряди нуқтавии q дар роҳи шаклаш ихтиёрии L (расми 1.29) ҳисоб мекунем.



Расми 1.29

Азбаски дар тӯли ин роҳ самт ва бузургии шадидият тағйир меёбанд, кори элементарӣ дар роҳи хурди dl мувофиқи (1.27) ҳисоб карда

мешавад. Дар ин маврид ба эътибор мегирем, ки $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2}$ ва

$dl \cos \alpha = dr$ (расми 1.29) ва аз ин рӯ кори элементарӣ:

$$\delta A = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_0} \frac{dr}{r^2}$$

буданаши маълум мегардад. Барои ёфтани қор дар роҳи L ҳангоми кӯчиши заряди q_0 , масалан аз мавқеи M_1 то M_2 аз ҳисоби интегралӣ истифода бурдан мусоид аст:

$$A = \int_{r_1}^{r_2} \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_0 r^2} dr = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_0} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r^2} = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right). \quad (1.29)$$

Яъне, қори кӯчондани заряди q_0 дар майдони ғайриҷамъинса низ ба шакли траекторияи ҳаракат вобаста нест ва қувваҳои электростатикӣ консервативиянду ҳуди майдонӣ потенциалӣ мебошад.

Агар заряди q_0 дар майдони атрофи системаи зарядҳо кӯчад, бо истифодаи принсипи суперпозитсияи майдонҳо барои ҳисоби қорифодаи:

$$A = \frac{q_0}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^n q_i \left(\frac{1}{r_{i1}} - \frac{1}{r_{i2}} \right) \quad (1.30)$$

ҳосил мешавад.

Дар ҳоли кӯчидани заряди q_0 ба рафти хати сарбастии шаклаш ихтиёрии L қори қувваҳои электростатикӣ мувофиқи (1.29):

$$q_0 \oint_L E_i dl = 0 \quad (1.31)$$

аст. Ин ҳулоса яке аз теоремаҳои асосии электростатика мебошад ва он шаҳодат медиҳад, ки майдони электростатикӣ потенциалӣ ва қувваҳои электрӣ консервативиянд. Интегралӣ:

$$\oint_L E_i dl \quad (1.32)$$

ба рафти хати сарбастии L *сиркулятсияи вектори шадидияти* ном дорад (аз сухани латинии *circulatio* - ҳаракати давронӣ). Аз (1.31) бармеояд, ки сиркулятсияи вектори шадидияти майдони электростатикӣ баробари сифр мебошад ва он танҳо ҳоси майдонҳои электростатикӣ. Минбаъд муқаррар менамоем, ки сиркулятсияи вектори шадидияти майдонҳои ғайриэлектростатикӣ, масалан майдони ба ном тӯфонӣ ё гирдбодӣ баробари сифр нест.

§1.8. Потенциал. Фарқи потенциалҳо

Тавре ки аз курси механика медонем, қори қувваҳои консервативӣ ба тағйироти энергияи потенциалӣ бо аломати манфӣ (яъне ҳангоми камшавии он) баробар аст:

$$A = -\Delta W_p = W_{p1} - W_{p2}. \quad (1.33)$$

Аз муқоисаи (1.29) ва (1.33) бармеояд, ки энергияи потенциалӣи заряди q_0 дар майдони электростатикӣи заряди нуқтавӣ q бо саҳеҳии бузургии доимӣ (*const*) муайян карда мешавад:

$$W_p = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq_0}{r} + const. \quad (1.34)$$

Агар ба назар гирем, ки қисм (дар мисоли мо заряди q_0) аз манбайи майдон дур рафтан гирад, энергияи потенциалӣи он кам шуда меравад ва дар фосилаи $r \rightarrow \infty$ ин энергияро баробари сифр қабул кардан равоаст. Пас, бузургии дойимиро дар (1.34) сарфи назар карда метавонем, аз ин рӯ энергияи потенциалӣи заряди q_0 дар майдони электростатикӣи заряди нуқтавӣ q :

$$W_p = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq_0}{r} \quad (1.35)$$

мебошад ва он чун энергияи потенциалии ҳамаҷамият (*таъсири мутақобила*) - и ду заряди нуқтавӣ доништа мешавад.

Агар ба ҷойи заряди q_0 бо навбат зарядҳои озмоишии $q_1, q_2, \dots, q_N$ - ро гузошта мувофиқи (1.35) энергияи потенциалии онҳоро муайян намоем, ин энергияҳо фарқ доштанишонро тасдиқ карда метавонем. Вале нисбатҳои энергияи потенциалии ҳар як заряд, бар бузургии ин заряд дар нуқтаи муайяни майдон ҳамон як қимат дорад:

$$\frac{W_p}{q_0} = \frac{W_{p1}}{q_1} = \frac{W_{p2}}{q_2} = \dots = \frac{W_{pN}}{q_N} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r}. \quad (1.36)$$

Ҳамин аст, ки нисбати энергияи потенциалии заряд W_p бар қимати ин заряд ҳамчун бузургии тавсифдиҳандаи энергетикӣ нуқтаи муайяни майдон қабул карда шудааст ва *потенциали ин нуқта* ном дорад. Потенциалро бо ҳарфи φ (фи) ишорат кардан маъмул гаштааст:

$$\varphi = W_p / q_0. \quad (1.37)$$

Яъне, потенциали нуқтаи маълуми майдон ададан ба энергияи потенциалии баробар аст, ки заряди вохид (1 Кл) ба он дар ин нуқта доро мешавад. Аз ин рӯ потенциал бузургии скалярӣ ва истифодаи он барои тавсифи майдон назар ба шадидият (бузургии векторӣ) бартарихи назаррас дорад.

Воҳиди потенциалро мувофиқи (1.37) муқаррар мекунанд ва дар СИ он 1 вольт (мухтасар 1 В мебошад: 1 В - потенциали нуқтаи майдонест, ки дар он заряди озмоишии 1 Кл дорои энергияи потенциалии 1 Ҷ мегардад: $1 \text{ В} = 1 \text{ Ҷ/Кл}$. Дар амалия воҳидҳои каратии вольт - $1 \text{ кВ} = 10^3 \text{ В}$; $1 \text{ МВ} = 10^6 \text{ В}$ низ истифода мешаванд.

Потенциали нуктаро доништа, энергияи потенциалии заряди дар ин нуқта ҷойгирбударо муайян кардан душвор нест:

$$W_p = q_0 \varphi. \quad (1.38)$$

Мувофиқи (1.36) *потенциали майдони заряди нуқтавии q дар фосилаи r аз он бо формулаи:*

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r} \quad (1.39)$$

муайян карда мешавад.

Потенциали нуқтаи маълуми майдони системаи зарядҳоро ҳамчун бузургии скалярӣ бо формулаи:

$$\varphi = \sum_{i=1}^N \varphi_i = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^N \frac{q_i}{r_i} \quad (1.40)$$

дарёфтан имконпазир аст (хотиррасон мекунем, ки заряди ҳаргуна ҷисми калон чун маҷмӯи зарядҳои нуқтавӣ доништа мешавад).

Ифодаи (1.38) – ро ба эътибор гирифта, кори кӯчондани зарядро мувофиқи (1.33) ба воситаи фарқи потенциалҳои ду нуқтаи майдон пешниҳод намудан мусоид аст, зеро фарқи потенциалҳо бо ёрии асбоби ба ном *вольтметр* чен карда мешавад:

$$A = -\Delta W_p = W_{p1} - W_{p2} = q_0(\varphi_1 - \varphi_2). \quad (1.41)$$

Аз ин ҷо

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A}{q_0} \quad (1.42)$$

буданаш маълум мегардад. Яъне, *фарқи потенциалҳои ду нуқтаи майдон* кореро муайян менамояд, ки барои заряди вохидӣ (1 Кл) - ро аз нуқтаи якум то нуқтаи дуум кўчондан бояд иҷро кард.

Одатан фарқи потенциалҳоро бо ҳарфи U ишорат мекунамд ва онро *шиддат* низ меноманд (минбаъд мефаҳмем, ки шиддат маънои васеътар дорад):

$$A = q_0 U. \quad (1.43)$$

Мувофиқи формулаи (1.41) ё (1.43) кор, инчунин энергияро баъзан (хусусан дар физикаи атом ва ядро) бо вохидҳои махсуси ба номи *электрон-вольт* (мухтасар эВ) - ҳо ифода мекунамд: 1 эВ – қорест, ки ҳангоми якто электронро дар байни ду нуқтаи фарқи потенциалҳояшон 1 В кўчондан бояд иҷро намуд:

$$1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 1 \text{ В} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Ҷ}.$$

Вохидҳои қаратии электрон - вольт низ мавриди истифода қарор меёбад:

$$1 \text{ кэВ} = 10^3 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-16} \text{ Ҷ};$$

$$1 \text{ МэВ} = 10^6 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ Ҷ};$$

$$1 \text{ ГэВ} = 10^9 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-10} \text{ Ҷ}.$$

Қайд қардан бамаварид аст, ки қимати миёнаи энергияи ҳаракати ҳароратии молекулаҳо kT ($k=1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Ҷ/К}$ дойимии Болсман) дар температураи ҳона $T=300 \text{ К}$ ($t=27^\circ\text{C}$) бо электронвольт чунин ифода меёбад:

$$kT = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Ҷ/К} \cdot 300 \text{ К} = 4,14 \cdot 10^{-21} \text{ Ҷ} \approx 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ эВ} = \frac{1}{40} \text{ эВ}.$$

Мисоли 1.6. Электронҳо дар кинескопи телевизион бо шиддати $U=20 \text{ кВ}$ тезонида мешаванд. Дар ҳоли суръати ибтидоии электронҳоро баробари сифр қабул намудан суръати ниҳонии онҳо дар кинескоп то кадом қимат мерасад?

Маълумот:

$$q = |e| = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$U = 20 \text{ кВ} = 2 \cdot 10^4 \text{ В}$$

$$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

$$g_0 = 0$$

$$g - ?$$

Ҳал

Мувофиқи қонунҳои бақои энергия қори майдони электрӣ ба тағйироти энергияи кинетикии электрон баробар аст:

$$A = qU = \Delta W_r = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2}.$$

Аз ин ҷо:

$$g = \sqrt{\frac{2qU}{m_e}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 2 \cdot 10^4 \text{ В}}{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}}} = 8,4 \cdot 10^7 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Ҷавоб: $\mathcal{I} = 8,4 \cdot 10^7 \text{ м/с}$.

Мисоли 1.7. Зарядҳои $q_1 = +20 \text{ мкКл}$ ва $q_2 = -30 \text{ мкКл}$ тавре ҷойгиранд, ки дар расми 1.30 тасвир ёфтааст. Потенсиали нуктаи C дар майдони ин зарядҳо чӣ қадар мебошад?

Маълумот:

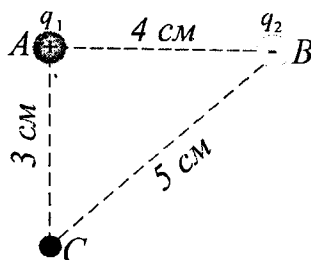
$$q_1 = +20 \text{ мкКл} = +2 \cdot 10^{-5} \text{ Кл}$$

$$q_2 = -30 \text{ мкКл} = -3 \cdot 10^{-5} \text{ Кл}$$

$$AC = r_1 = 3 \text{ см} = 3 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$BC = r_2 = 5 \text{ см} = 5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$\varphi_C = ?$$



Расми 1.30

Ҳал

Зарядҳои q_1 ва q_2 - ро чун зарядҳои нуктавӣ қабул менамоем, он гоҳ мувофиқи (1.40):

$$\begin{aligned} \varphi_C &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1}{r_1} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_2}{r_2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2} \right) = 9 \cdot 10^9 \left(\frac{2 \cdot 10^{-5} \text{ Кл}}{3 \cdot 10^{-2} \text{ м}} + \frac{(-3 \cdot 10^{-5} \text{ Кл})}{5 \cdot 10^{-2} \text{ м}} \right) = \\ &= \frac{9}{15} \cdot 10^6 \text{ В} = 0,6 \cdot 10^6 \text{ В} = 0,6 \text{ МВ} = 600 \text{ кВ} \end{aligned}$$

буданаш маълум мегардад.

Ҷавоб: $\varphi_C = 600 \text{ кВ}$.

§ 1.9. Таносуби байни потенциал ва шадидият

Дар мавриди маълум будани кимати потенциали нуктаҳои гуногуни майдони электрӣ шадидияти ин нуктаҳоро ёфтан мумкин аст. Агар ба эътибор гирем, ки шадидияти майдон $\vec{E}$ бо қувваи ба заряд таъсировар ва потенциал бо энергияи он заряд муайян карда мешавад, ин ду бузургӣ бояд ба ҳам мутаносиб бошанд. Дарвоқеъ, кори қувваҳои майдон барои кӯчонидани заряд дар роҳи хурди dl бо формулаи $\delta A = q_0 E_c dl$, аз тарафи дигар, хамин корро тавассути камшавии энергияи потенциалӣ бо формулаи:

$$\delta A = -dW_p = -d(q_0 \varphi) = -q_0 \frac{\partial \varphi}{\partial l} dl$$

муайян кардан мумкин аст. Аз ин рӯ:

$$q_0 E_c dl = -q_0 \frac{\partial \varphi}{\partial l} dl,$$

пас,

$$E_e = -\frac{\partial \varphi}{\partial l} \quad (1.44)$$

мебошад. Яъне, проексияи вектори $\vec{E}$ дар ягон меҳвари l бо аломати минус ба ҳосилаи хусусии потенциал дар ин меҳвар баробар аст. Ба ин муносибат ифодаҳои зерин ҷой доранд:

$$E_x = -\frac{\partial \varphi}{\partial x}; E_y = -\frac{\partial \varphi}{\partial y}; E_z = -\frac{\partial \varphi}{\partial z}. \quad (1.45)$$

Ёдовар мешавем, ки мувофиқи қоидаҳои математика баробарии зеринро тартиб додан раво аст:

$$\vec{E} = \vec{i}E_x + \vec{j}E_y + \vec{k}E_z = -\left(\vec{i}\frac{\partial \varphi}{\partial x} + \vec{j}\frac{\partial \varphi}{\partial y} + \vec{k}\frac{\partial \varphi}{\partial z}\right).$$

Дар ин ҷо $|\vec{i}| = |\vec{j}| = |\vec{k}| = 1$ ҳамчун модули векторҳои воҳидии мувофиқан ба самтҳои меҳварҳои координатӣ раво дониста мешаванд. Ифодаи дар қавсайн ҷойгирбуда *градиенти потенциал* аст ва онро бо $grad\varphi$ ишорат мекунанд:

$$\vec{E} = -grad\varphi. \quad (1.46)$$

Яъне, шадидияти майдони электрӣ бо тағйироти потенциал бар воҳиди дарозӣ, ки ба рафти хатҳои шадидият рост меояд, муайян мегардад. Аломати минус дар (1.46) нишон медиҳад, ки вектори шадидият ба тарафи камшавии потенциал равонааст.

Агар майдон якҷинсаву U -шиддати байни ду нуктаи масофаи байнашон d бошад (ба (1.28) ниг.) онгоҳ

$$E = -\frac{\Delta\varphi}{d} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d} = \frac{U}{d}, \quad (1.47)$$

аз ин ҷо:

$$U = Ed \quad (1.48)$$

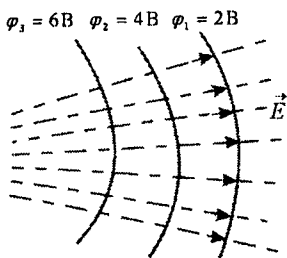
аст. Аз ин рӯ, бо дарназардошти он, ки дар майдони якҷинса $E = const$ мебошад, ҳар қадар фосилаи байни ду нукта афзудан гирад, шиддати байни онҳо низ зиёд мешавад.

Воҳиди шадидиятро дар СИ маҳз мувофиқи (1.47) муқаррар мекунанд ва 1 В/м – шадидияти нуктаи майдонест, ки дар он ба ҳар як метри дарозии хатти қуввагӣ шиддати 1 В рост меояд.

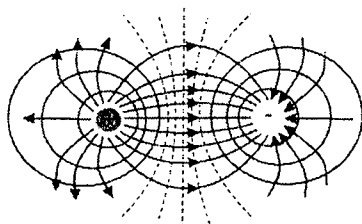
Барои тасвири аёнии майдонҳои электрӣ дар баробари хатҳои шадидият мафҳуми *сатҳҳои эквипотенсиалӣ*, яъне сатҳҳое, ки дар ҳар як нуктаашон потенциал ҳамон як қимат дорад, истифода мешавад. Яке аз хусусиятҳои ин сатҳҳо дар он аст, ки ҳаракати зарядҳо ба рафти ин сатҳҳо иҷрои қорро талаб намекунад, аз ин рӯ хатҳои шадидият ҳар гоҳ ба сатҳҳои эквипотенсиалӣ амудан сӯйи камшавии потенциал равонаанд. Дар расми 1.31 хатҳои шадидияти майдоне штрихонида (рах-рах) шудаанду буришгоҳҳои сатҳҳои эквипотенсиалӣ бо хатҳои яқлухт тасвир ёфтаанд. Дар расми 1.32 ин гуна хатҳо барои диполи электрӣ оварда шудаанд. Барои зарядҳои

нуктавӣ сатҳҳои эквипотенсиалӣ сфераҳоянд, зеро $\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r}$ буданаш

ба ин гувоҳӣ медиҳад.



Расми 1.31



Расми 1.32

Бояд қайд кард, ки дар ҳар як майдон теъдоди зиёди сатҳҳои эквипотенсиалӣ гузаронидан мумкин аст. Вале одатан онҳоро кадре мегузаронанд, ки фарқи потенциалҳои ҳар гуна ду сатҳи эквипотенсиалии ҳамсоя ҳамон як кимат дошта бошад (ба расми 1.31 нигаред). Он гоҳ зичии сатҳҳои эквипотенсиалӣ ба тарзи аёнӣ шадидиятро дар нуктаҳои гуногуни майдон муайян менамояд.

Мисоли 1.8. Дар байни ду лавҳаи металлӣ уфуқан дар фосилаи $d=5$ мм ҷойгирбудаи фарқи потенциалҳои $U=100$ В чакраи рағбани радиусаш $r=1,43$ мкм - и манфӣ заряднок дар мувозанат мебошад. Зичии рағган $D=800$ кг/м³ аст. Муайян намоед, ки чакра чандто электрони «зиёдати» дорад. Агар дар натиҷаи бо афканишоти ултрабунафш шуоъборон кардан чакра нисфи электронҳояшро талаф диҳад, он бо кадом шитоб ба ҳаракат мебарояд?

Маълумот:

$$d = 5 \text{ мм} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$U = 100 \text{ В}$$

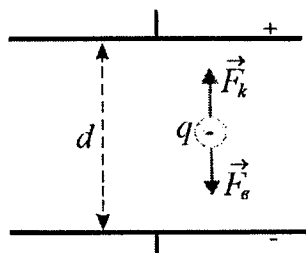
$$r = 1,43 \text{ мкм} = 1,43 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

$$D = 800 \text{ кг/м}^3$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$\Delta N = \frac{1}{2} N$$

$$N - ? \quad a - ?$$



Расми 1.33

Ҳал

Ба чакра қувваи вазнинии:

$$F_g = mg = DVg = \frac{4}{3} \pi r^3 Dg$$

ва қувваи электрии:

$$F_{эл} = qE = q \frac{U}{d}$$

таъсир мекунад, ки муқобилсамтанд (расми 1.33). Мувофиқи шартҳои мувозанатӣ $\vec{F}_{эл} + \vec{F}_g = 0$ ё худ:

$$q \frac{U}{d} = \frac{4}{3} \pi^3 Dg$$

буданаширо ба эътибор гирифта, заряди чакра ва аз ин рӯ теъдоди электронҳои «зиёдати» - аширо муайян карда метавонем:

$$N = \frac{q}{|e|} = \frac{4\pi^3 Dgd}{3eU} = \frac{4 \cdot 3,14 \cdot (1,43 \cdot 10^{-6} \text{ м})^3 \cdot 800 \text{ ёд/м}^3 \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}}{3 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 100 \text{ В}} \approx 30.$$

Дар холи талаф ёфтани нисфи ин теъдоди электронҳо кувваи электрии ду маротиба кам мегардаду чакра бошито (кувваҳои дойимиянд) ба поён мефуроад. Шитоби ҳаракати чакраро мувофиқи қонуни асосии динамика мӯйян кардан мумкин аст:

$$ma = mg - q_1 \frac{U}{d},$$

ки дар ин ҷо $q_1 = \Delta Ne = 15e = 15 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} = 2,4 \cdot 10^{-18} \text{ Кл}$ мебошад. Пас,

$$a = g - \frac{q_1 U}{md} = g - \frac{q_1 U}{\frac{4}{3} \pi^3 Dd} = 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} - \frac{2,4 \cdot 10^{-18} \text{ Кл} \cdot 100 \text{ В}}{4 \cdot 3,14 \cdot (1,43 \cdot 10^{-6} \text{ м})^2 \cdot 800 \text{ кг/м}^3 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}} = 4,9 \text{ м/с}^2 \approx 5 \text{ м/с}^2.$$

Ҷавоб: $N = 30$; $a \approx 5 \text{ м/с}^2$.

§1.10. Ҳисоб кардани фарқи потенциалҳо ба воситаи шадидият

Бо истифодаи формулаҳои ҳисоби кори кӯчондани заряд дар майдони электрии:

$$A = q_0 \int_1^2 E_e dl; \quad A = q_0 (\varphi_1 - \varphi_2)$$

таносуби зеринро муқаррар кардан душвор нест:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_1^2 E_e dl = \int_1^2 E dl \cos \alpha. \quad (1.49)$$

Яъне, шадидияти майдон E - ро доништа, фарқи потенциалҳои ду нуктаи майдонро муайян кардан имконпазир аст. Инро бо овардани чанд мисоли мушаххас нишон медиҳем.

1. Майдони ҳамвории беохири мунтазам заряднок. Шадидияти ин гуна майдон бо формулаи (1.22) ҳисоб карда шуданаш ва дар ин маврид $dl = dr$ буданаширо доништа (вектори шадидият ба ҳамворӣ амуд аст), фарқи потенциалҳои ду нуктаи майдонро дарёфта метавонем:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_1^2 E dr = E \int_{r_1}^{r_2} dr = \frac{|\sigma|}{2\epsilon_0} (r_2 - r_1).$$

Агар ба назар гирем, ки зичии сатҳии зарядҳо $\sigma = q/S$ ва фосилаи кӯтохтарини байни ду нуктаи майдон $r_2 - r_1 = d$ мебошад, фарқи потенциалҳои нуктаи майдони якҷинса:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{qd}{2\epsilon_0 S}$$

буданаш маълум мегардад.

2. Майдони ду ҳамвории беохири параллелии мунтазам, вале ғуноғуннавъ заряднок. Ҳисоби фарқи потенциалҳо дар ин маврид ҳам чун барои як ҳамвориву лекин (дар мобайни ҳамворихо) ду маротиба зиёдтар, яъне

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{\sigma}{\epsilon_0} (r_2 - r_1) = \frac{q}{\epsilon_0 S} d \quad (1.50)$$

мебошад.

3. Майдони сатҳи сферавии мунтазам заряднок. Тавре ки маълум аст, шадидияти майдони ин гуна сатҳ дар масофаҳои $r \geq R$ (R - радиуси сфера) чун шадидияти майдони заряди нуктавӣ $\left(E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \right)$ муайян карда мешавад. Аз ин рӯ мувофиқи (1.49):

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_{r_1}^{r_2} E(r) dr = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r^2} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (1.51)$$

мебошад. Агар $r_1 = r$, $r_2 = \infty$ бошад, он гоҳ

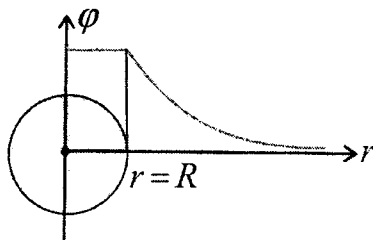
$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r}$$

буданаш маълум мегардад (шумо онро бо формулаи потенциалҳои майдони заряди нуктавӣ (1.36) муқоиса намоед).

Андаруни сфераи заряднок, инчунин дар сатҳи он потенциал ҳамон як қимат дорад ва бо формулаи:

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{R}$$

муайян карда мешавад ва он ба тарзи графикӣ дар расми 1.34 тасвир ёфтааст.



Расми 1.34

4. Майдони кураи ҳаҷман мунтазам зарядноки радиусаш R . Шадидияти майдони ин гуна кура дар берун аз он чун шадидияти

майдони заряди нуктавӣ муайян карда шуданаширо хотиррасон менамоем. Аз ин рӯ фарқи потенциалҳои ду нуктаи дар масофаҳои r_1 ва r_2 аз маркази кура воқеъгардида ($r_1 > R$, $r_2 > R$, $r_2 > r_1$) мувофиқи (1.51) дарёфта метавонем. Вале дар нуктаи ихтиёрии андаруни кура ҷойгирбуда ($r < R$) шадидият бо формулаи (1.26) муайян карда шуданаширо ба эътибор гирифта, *фарқи потенциалҳои ду нуктаи дар масофаҳои r_1 ва r_2 аз маркази кура ($r_1 < R$, $r_2 < R$) воқеъгардида дар асоси (1.49) дарёфтан мумкин аст:*

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_{r_1}^{r_2} E(r) dr = \frac{q}{8\pi\epsilon_0} (r_2^2 - r_1^2) \quad (1.53)$$

5. Майдони силиндри борики беохир (сим) - и мунтазам заряднок. Шадидияти ин майдон дар масофаи r аз меҳвари силиндр бо формулаи (1.24) муайян карда шуданаширо хотиррасон менамоем. Пас, фарқи потенциалҳои ду нуктаи ин майдон мувофиқи (1.49) дар нуктаҳои масофаашон r_1 ва r_2 :

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_{r_1}^{r_2} E(r) dr = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{r_2}{r_1}$$

дарёфта мешавад.

§ 1.11. Ноқилҳо дар майдони электрӣ

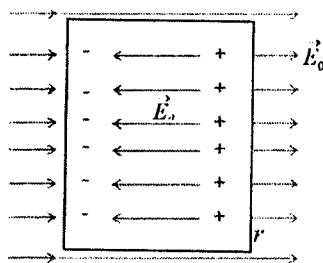
Ду навъ ноқилҳо: *ноқилҳои ҷинси I* (асосан металлҳо ва ҳӯлаҳои онҳо); *ноқилҳои ҷинси II* (маҳлулҳои намак, ишқор, туршӣ ё кислота, гудохтаи намакҳо ва ғайра, ки мухтасар *электролитҳо* - аз электр ва сухани юнioni lytos – таҷзия, ҷудо шудан) - ро фарқ мекунанд.

Дар ноқилҳои ҷинси I ҳомилони зарядҳои электронҳои озод мебошанд. Электронҳои озод чун зарраҳои хурдтарини моддаҳо бо таъсири қувваҳои нисбатан кам зуд ба ҳаракат мебароянд. Оид ба ноқилҳои ҷинси II, ки дар онҳо ҳомилони заряд ионҳои мусбату манфанд, минбаъд маълумот оварда мешавад.

Хотиррасон кардан ба маврид аст, ки электронҳои озод дар шароити муқаррарӣ мисли молекулаҳои гази идеалӣ рафтор мекунанд - ин фаразия асоси назарияи классикии ба истилоҳ *назарияи электронӣ* мебошад, аз ин рӯ онҳо дар ҳаракати бенизоми ҳароратианд.

Мавриди дар майдони электрии берунӣ ҷойгир намудани порчаи металл электронҳои озоди он бо таъсири ин майдон ҳамчун зарядҳои манфӣ ба муқобили самти шадидият ба ҳаракати нигаронида (ботартибона) мебароянд. Аз ин рӯ дар сатҳҳои ба самти вектори $\vec{E}_0$ амуд зарядҳои микдоран баробари гуногунҷинс (дар сатҳе, ки хатҳои шадидияти майдони беруна ворид мешаванд, зарядҳои мусбат) ҳам мешаванд (расми 1.35). Дар натиҷа андаруни порчаи металл майдони дохилии электрии $\vec{E}_0$ ба вучуд меояд, ки ба вектори $\vec{E}_0$ муқобилсамт асту майдони беруниро суст мегардонад. Қўчиши электронҳои озод то даме идома меёбад, ки майдони дохилӣ майдони берунаро ба мувозанат орад (компенсатсия намояд). Дар ин маврид шадидияти натиҷавӣ андаруни порча баробари сифр аст, ҳарчанд он заряднок мешавад (тавре ки зикр ёфт ин ҳодиса индуксияи

электростатикӣ ном гирифтааст). Агар ин порчаи металлро аз майдон дур андозем, зарядҳои мусбату манфӣ аз нав мунтазам тақсим гардида, нокил аз бори электрӣ ҳалос мешавад, яъне ба ҳолати муқаррариаш бармегардад.



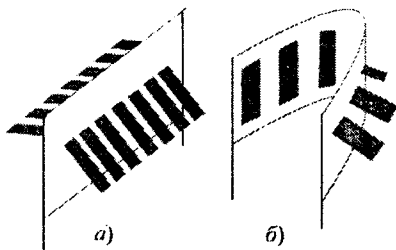
Расми 1.35

Тули вақте ки дар давоми он нокили дар майдони электрӣ ҷойгиркарда заряднок мешавад, чунон кам аст, ки зарядҳои дар нокил ҳосилгардида ғайрӣ ба мувозанат меоянд. Ҳамин аст, ки андаруни нокил ҳамон замон шадидияти натиҷавӣ $\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}' = 0$ ва сатҳи нокил эквипотенсиалӣ мешавад. Агар дар дохили нокили заряднок майдон вучуд нашошта бошад, зичии ҳаҷмӣи заряд дар он ҷо бояд баробари сифр гардад. Аз ин рӯ зарядҳои ангезонидашуда танҳо дар сатҳи берунии нокил бояд ҷойгир шаванд. Пас, дар дохили нокили дарунҳолии зарядноки ба мувозанатомада майдони электрӣ вучуд надорад. Ба ин ҳодиса *муҳофизати электростатикӣ* асос ёфтааст. Масалан, агар ягон асбобро андаруни ғилофи металлӣ ҷойгир намоем ё он асбобро бо тӯри металлӣ гирдпеч созем, ба нишондоди ин асбоб майдонҳои берунаи электрӣ таъсире намерасонанд.

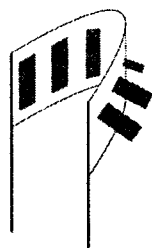
Савол ба миён меояд, агар ба нокили безаряд як миқдор заряд диҳем, ин зарядҳо дар сатҳи нокил чӣ тавр ҷойгир мешаванд? Барои ба ин савол ҷавоб дарёфтани тӯраки металлӣ, ки ба дастаҳои ғайринокилӣ маҳкам асту дар он варақчаҳои қоғазӣ часпонда шудаанд, заряднок мекунем. Агар ин тӯраки заряднокро аз дастаҳои кашаи рост дорем (расми 1.36, а), варақчаҳо аз тарафи тӯрак якхела дур мешаванд (ҳар як варақча гуё электроскоп мебошад). Яъне зарядҳо дар сатҳҳои мунтазам тақсим гардидаанд. Дар мавриди қачу ҳалқашакл кардан (расми 1.36, б) варақчаҳо танҳо дар тарафи берунии тӯрак дур мешаванду бас. Ба тӯрак ҳар гуна шакли қачӣ дода боварӣ ҳосил карда метавонем, ки зарядҳо танҳо дар тарафҳои барҷастаи сатҳ ҷой мегиранд ва чунон тақсим мешаванд, ки дар мавзӯҳои қачишон калон (радиуси қачӣ хурд) зарядҳо зиддтаранд (расми 1.36).

Ҳамин тарик, зарядҳо танҳо дар сатҳи берунии нокили курашакл мунтазам тақсим мешаванд. Дар мавриди шакли ихтиёрӣ доштани нокил зичии сатҳӣи заряд ва аз ин рӯ шадидияти майдон дар назди сатҳи қачиаш калон бузургтар мебошад. Зичии заряд дар ҷойҳои барҷастаю нӯгтези нокили заряднок (расми 1.37) зиёд аст, ҳарчанд тамоми сатҳи нокил эквипотенсиалист. Нокилҳои нӯгтез зуд -

зуд зарядашонро гум мекунанд. Дар назди нӯгҳои тези нокили заряднок ба ном «боди электрӣ» ба вучуд меояд: агар шамъ ба ин гуна нӯг наздик оварда шавад, боди зикрѐфта гӯѐ онро «пуф» мекунад (расми 1.39). Сабаб дар он аст, ки бо таъсири майдони пурзӯри нӯги тез дар молекулаҳои нейтралӣ ҳаво зарядҳои индуктсионӣ (ангезонида) ба вучуд омада, ба мисли чизҳои майда (нахҳои мӯй) ба ҷисми заряднок ҷазб мешаванду ба нӯг расида ҳамчун зарядноку аз он дур мераванд. Дар натиҷа «боди электрӣ» ба вучуд меояд.

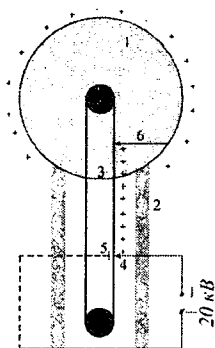


Расми 1.36

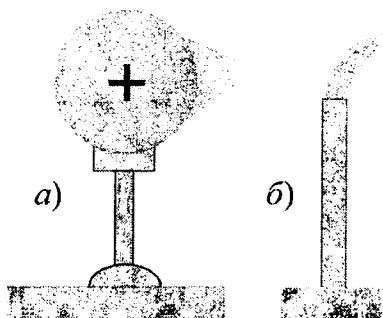


Расми 1.37

Ҳосияти танҳо дар сатҳи берунӣ ҷойгир шудани зарядҳо дар сохти дастгоҳҳое, ки барои ҳосил кардани шиддати хеле баланд таъйин гардидаанд ва *генераторҳои электростатикӣ* ном доранд, мавриди истифода қарор меѐбанд. Яке аз ин гуна генераторҳоро бори нахуст олими амрикоӣ Р. Ван-де Грааф (1901-1967) ихтироъ кардаст, ки он аз нокили дарунхолии курашакли 1 (расми 1.38) ба пояҳои диэлектрики 2 маҳкамбуда иборат аст. Навори резинии ҳаракатманди 3 аз манбаи шиддат бо ёрии системаи нӯгтези 4, ки ба яке аз қутбҳои манбаъ пайвасту қутби дигараш заминвасла аст, заряднок мешавад. Лавҳаи заминваслаи 5 ҷоришавии зарядҳоро метезонад. Системаи дигари нӯгтези 6 зарядро аз навор гирифта ба кураи дарунхоли интиқол медиҳад ва онҳо дар сатҳи берунии кура ҷойгир мешаванд. Бо ин усул миқдори зиѐди зарядро дар кура гун карда, шиддати якчанд миллион волтро ҳосил намудан имконпазир аст.



Расми 1.38



Расми 1.39

Генераторҳои баландишиддати электростатикӣ пештар танҳо дар физикаи атому ядро барои суръатфизои протонҳо татбиқ ёфта буданд. Ҳоло ингуна генераторҳо дар саноати нимнокилӣ, афканиши шуоъҳои рентгении дарозии мавҷашон хеле кӯтоҳ, дефектоскопия (нуқсонсанҷӣ), технологияи радиатсионӣ ва ғайра қорбаст карда мешаванд.

§1.12. Диэлектрикҳо дар майдони электрӣ

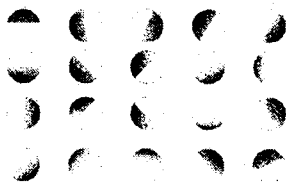
Ҳангоми омӯхтани қонуни Кулон ба эътибор гирифтём, ки қувваҳои ҳамтаъсири электрӣ дар муҳити диэлектрикӣ назар дар вакуум ϵ маротиба ва аз ин рӯ шадидияти майдони электрӣ низ ҳамин қадар кам мешаванд:

$$\epsilon = \frac{F_0}{F} = \frac{qE_0}{qE} = \frac{E_0}{E}. \quad (1.55)$$

Пеш аз ҳама бояд хотиррасон кард, ки ба диэлектрик ё изолятор (ғайринокил)-ҳо моддаҳои дар шароити муқаррарӣ, яъне ҳангоми температураҳои наҷандон баланд ва мавҷуд набудани майдонҳои пурзӯри электрӣ теъдоди электронҳои озодашон ниҳоят камбуда мансубанд. Резина, чинӣ, шиша, аксар пластмасҳо, чӯби хушк, оби тоза, газҳо ва ғайра моддаҳои диэлектрикианд.

Бархилофи нокилҳо зарраҳои заряднок дар тамоми ҳаҷми диэлектрикҳо озодона ҳаракат карда наметавонанд, онҳо танҳо қудрати аз ҷойҳои муқимиашон ба масофаҳои нисбат ба фосилаҳои байниатомӣ на он қадар зиёд майл хӯрда метавонанд бас. Ҳамин аст, ки зарраҳои зарядноки моддаҳои диэлектрикиро *баста ё алоқаманд* меноманд. Бо ин сабаб диэлектрикҳо дар майдони электрии беруна назар ба нокилҳо рафтори хосса зоҳир менамоянд. Барои шарҳ додани ин гуна хусусиятҳои диэлектрикҳо сохти дохилии онҳоро бояд ба эътибор гирифт.

Вобаста ба сохти дохилии молекулаҳои онҳо кулли диэлектрикҳо ба се гурӯҳ ҷудо мекунанд. Гурӯҳи аввали диэлектрикҳо моддаҳои ташкил медиҳанд, ки молекулаҳои онҳо сохти симметрии доранд: марказҳои зарядҳои мусбату манфии онҳо ҳамҷояанд. Ба ин гуна диэлектрикҳо N_2 , O_2 , H_2 , CO_2 , CH_4 ва ғайраҳо мансубанд, яъне моменти диполии молекулаҳои онҳо баробари сифр мебошад. Тасвири нақшаи молекулаҳои чунин диэлектрикҳо дар расми 1.40 оварда шудааст (нимкураҳои сафед шартан зарядҳои мусбату нимкураҳои сиёҳ - зарядҳои манфиро нишон медиҳанд).



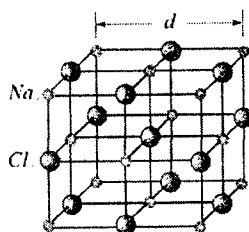
Расми 1.40

Ба гурӯҳи дигар диэлектрикхое тааллуқ доранд, ки дар молекулаҳои марказҳои тақсими зарядҳои мусбату манфӣ ҳамчун нестанд ва ин гуна молекулаҳо чун диполҳои электрӣ қабул кардан раво аст, яъне онҳо кутбноканд. Ҳарчанд моментҳои диполии молекулаҳои ин гурӯҳи диэлектрикҳо ба сифр баробар нестанд, онҳо ба сабаби ҳаракати ҳароратӣ дар порчаи диэлектрик бенизом ҷойгир шудаанду momenti диполии натиҷавии порча сифр аст.

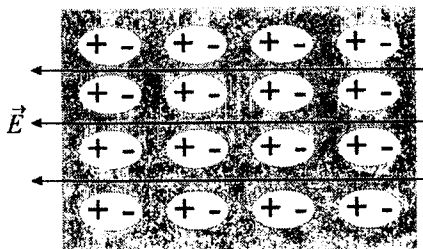
Гурӯҳи сеюми диэлектрикҳо моддаҳои кристаллӣ (NaCl , KBr , LiF , ...) ташкил медиҳанд, ки молекулаҳои сохти ионӣ доранд. Дар қуллаҳои панҷараҳои фазовии шаклашон ба ҳар як кристаллҳои ионӣ хоси андозаҳои гуногун бо тартиби муайян ионҳои мусбату манфӣ ҷойгиранд ва кристалли том нейтрал аст. Масалан, дар панҷараи фазовии кристалли намаки ошӣ (NaCl) ионҳо бо навбат дар қуллаҳои гӯё кубчае тавре ки дар расми 1.41 тасвир ёфтааст, ҷойгир шудаанд (мувофиқи маълумоти таҳлили рентгеноструктурӣ даври ин панҷара, яъне тарафи кубча $d=56,3$ нм мебошад).

Ҳангоми чунин кристаллро дар майдони электрии беруна якҷинса ҷойгир кардан он қадре дучори деформатсия мегардаду дар натиҷа momenti диполии антезонида ба вуҷуд меояд.

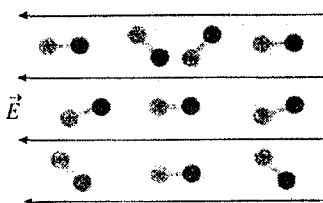
Агар диэлектрикҳои гурӯҳи аввал дар майдони якҷинсаи беруна воқеъ гарданд, бо таъсири майдон зарядҳои мусбат ба самти шадидияти майдону зарядҳои манфӣ ба муқобили ин самт қадре майл мешаванд ва молекулаҳо дар натиҷа дорои momenti диполи мешаванд (расми 1.42).



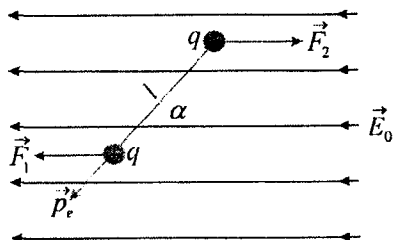
Расми 1.41



Расми 1.42



Расми 1.43



Расми 1.44

Дар мавриди диэлектрикҳои гурӯҳи дуюмро дар майдони якҷинсаи беруна ҷойгир кардан моментҳои диполии молекулаҳои

кутбнок бештар ба самти шадидияти ин майдон нигаронида мешаванду порчаи диэлектрик кутбнок мегардад. (расми 1.43).

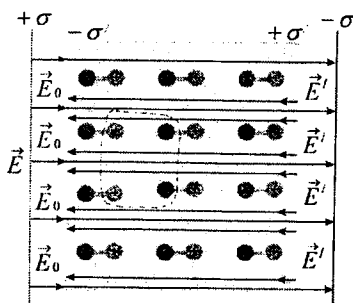
Ҳамин тариқ, ҷойгир кардани ҳар се гуруҳи диэлектрикҳо дар майдони электрии беруна дар порчаи диэлектрик ба пайдо гардидани моменти диполии ангезонидаи натиҷавӣ меоварад, ки ин ҳодиса *поляризация* (гӯё кутбнокшавӣ)-и диэлектрик ном гирифтааст. Агар майдони беруна якчинса бошад, ба ҳар як дипол аз ҷониби майдони шадидияташ $\vec{E}_0$ қувваҳои модулан баробари:

$$|\vec{F}_1| = |\vec{F}_2| = |q|E_0,$$

вале аксулсамт (чуфти қувваҳо) таъсир менамоянд ва дар натиҷа дипол гардиш меҳӯраду моменти диполиаш сӯи майдон нигаронида мешавад (расми 1.44).

Дар майдони ғайриякчинса қувваҳои $\vec{F}_1$ ва $\vec{F}_2$ модулан баробар нестанд, аз ин рӯ дипол ғайр аз ҳаракати чархзанӣ кардан бо таъсири қувваи натиҷавӣ, ки модулаш ба фарқи модулҳои ин қувваҳо баробар аст, ба ҷойҳои шадидияти майдон зиёдтарбуда мекуҷад (ба ҷисмҳои заряднок ҷазб шудани ҷизҳои майда, нахҳои мӯй, ки дар ин бора дар муқаддима сухан рафта буд, маҳз бо ин гуна кӯчиш шарҳ меёбад).

Агар порчаи диэлектрикро дар майдони якчинсаи берунаи шадидияташ $\vec{E}_0$ ҷойгир намоем, молекулааш хоҳ бекутбу хоҳ кутбнок, инчунин ионӣ бошад, монанди дипол рафтор мекунаду сӯи шадидият нигаронида мешавад, векторҳои моментҳои диполҳо бештар бонизом самт мегиранд. Ҳарчанд ҳаракати бетартибонаи ҳароратии молекулаҳо ба тартиби комил даромадани диполҳо ҳалал мерасонад. Аз ин рӯ ҷойгиршавии пурраи бонизомии диполҳо рӯй намедихад ва ба қадри пурзӯр гардидани майдони беруна диполҳо ҳарчӣ бештар ба самти шадидияти майдон нигаронида мешаванд. Дар натиҷа дар сатҳҳои ба ҳам рӯ ба рӯи ба самти шадидияти $\vec{E}_0$ амудӣ ҷойгирбудаи диэлектрик зарядҳои гуногунчинси микдоран баробари компенсатсия нагардидаи зичии сатҳиашон $-\sigma'$ ва $+\sigma'$ ба вуҷуд меоянд (расми 1.45).



Расми 1.45

Ҳарчанд дар ҳаҷми ихтиёрии диэлектрик ҳосили ҷамъи зарядҳои баста баробари сифр мебошад (дар расми 1.45 ин гуна ҳаҷм дар порчаи диэлектрик бо хатҳои штрихӣ ҷудо карда шудааст).

Пас, порчаи диэлектрики дар майдони берунаи шадидияташ $\vec{E}_0$ ҷойгирбуда ба диполи азимҷуссае табдил меёбад, ки моменти диполияш:

$$\vec{P} = |\sigma'|SL \quad (1.56)$$

мебошад (S - масоҳати сатҳе, ки дар он зарядҳои ангезонидашудаи σ' ва $+\sigma'$ ба вучуд меоянд, L - ғафсии порчаи диэлектрик).

Барои тавсифи ҳолати кутбнокшавии диэлектрикҳо бузургии ба истилоҳ *вектори поляризатсия* ($\vec{P}$) истифода мешавад, ки он ба ҳосили ҷамъи моментҳои диполи куллии молекулаҳои дар ҳаҷми диэлектрик мавҷуда баробар аст:

$$\vec{P} = \frac{\sum_{i=1}^N \vec{P}_{ei}}{\Delta V} \quad (1.57)$$

Аз ин рӯ вектори поляризатсия дар мавриде, ки муҳокима мешавад,

$$|\vec{P}| = \frac{|\sigma'|SL}{\Delta V} = |\sigma'| \quad (1.58)$$

буданаш маълум мегардад.

Шадидияти майдони зарядҳои бастаи ангезонидашуда $\vec{E}'$ (зиҷии, сатҳиашон $|\sigma'|$) ба шадидияти майдони зарядҳои озод $\vec{E}_0$ муқобилсамт аст, аз ин рӯ шадидияти майдони натиҷавӣ $\vec{E}$ -ро модулан бо формулаи:

$$E = E_0 - E' \quad (1.59)$$

муайян карда метавонем.

Тавре ки таҷрибаҳо собит менамоянд, барои гурӯҳҳои зиёди диэлектрикҳо вектори поляризатсия ба шадидияти майдони натиҷавӣ дар диэлектрик ($\vec{E}$) хаттӣ вобаста мебошад:

$$\vec{P} = \chi \epsilon_0 \vec{E}. \quad (1.60)$$

Дар ин ҷо χ (каппа хонда мешавад) коэффитсиенти вобастагӣ буда, *пазируфти диэлектрикии модда* (ба лафзи русӣ «диэлектрическая восприимчивость») ном дорад.

Агар ба эътибор гирем, ки:

$$E' = \frac{|\sigma'|}{\epsilon_0} \quad (1.61)$$

мебошад, ифодаи (1.59)-ро бо дарназардошти (1.58) ва (1.61) чунин пешниҳод карда метавонем:

$$E = E_0 - \frac{|\sigma'|}{\epsilon_0} = E_0 - \frac{P}{\epsilon_0} = E_0 - \chi E,$$

ё ки

$$\epsilon_0 E_0 = \epsilon_0 E + P. \quad (1.62)$$

Аз ин рӯ:

$$(1 + \chi)E = E_0 \quad (1.63)$$

буданаш маълум мегардад. Ин формуларо бо (1.55) муқоиса карда хулоса мегирем, ки нуфузпазирии нисбии диэлектрикӣ:

$$\varepsilon = 1 + \chi. \quad (1.64)$$

мебошад.

Барои тавсифи майдон дар диэлектрикҳо бузургии вектории ба ном *индуксияи электрӣ* ё худ *ангезаи электрӣ*, ки бо ҳарфи $\vec{D}$ ишорат мешавад, мавриди истифода қарор меёбад:

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E}_0 = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P} \quad (1.65)$$

мебошад.

Бо дарназардошти (1.60) ва (1.64) ин бузургӣ бо вектори шадидияти майдони натиҷавӣ дар диэлектрик $\vec{E}$ чунин таносуб дорад:

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \varepsilon \vec{E}. \quad (1.66)$$

Аз ифодаи (1.65) бармеояд, ки вектори $\vec{D}$ танҳо бо шадидияти майдони беруна $\vec{E}_0$, яъне тақсимои зарядҳои озод муайян карда мешавад. Дарвоқеъ, теоремаи Гаусс барои вектори индуксияи электрӣ чунин намуд мегирад:

$$\oint_S \vec{D}_n dS = \oint_S \varepsilon_0 \vec{E}_{0n} dS = \sum_{i=1}^n q_{i\text{Озод}} = q_{\text{Озод}}. \quad (1.66)$$

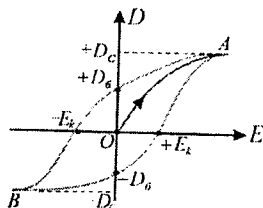
Ин формуларо бо теоремаи Гаусс (1.20) муқоиса намоед.

§ 1.13. Сегнетоэлектрикҳо. Эффе́кти пийезоэлектрӣ

Дар як қатор диэлектрикҳо, аз ҷумла намаки сегнетӣ (ин истилоҳ ба шарафи кашшофи намаки $\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, ки онро соли 1672 олими фаронсавӣ П. Сейнет (Seignette) муқаррар карда буд, чунин номида мешавад), титанати барий (BaTiO_3 , ин намакро с.1994 олими советӣ Б.М. Вул кашф намудааст) ва чандеи дигар, нуфузпазирии нисбӣ ε киматҳои ғайриҷашмдошт калон, то даҳҳо ҳазор мегирад. Зидда аз ин, ε ба шадидияти майдони берунаи электрӣ вобастагӣ дорад. Ҳамин аст, ки диэлектрикҳои ба чунин хосиятҳо доро *сегнетоэлектрикҳо*, баъзан *ферроэлектрикҳо* (бо сабаби ба ферромагнетикҳо шабоҳат зохир карданашон) ном гирифтаанд.

Сегнетоэлектрикҳо назар ба дигар диэлектрикҳо боз бо як хусусияти ачибе фарқ мекунанд: дар онҳо ҳангоми набудани майдони берунаи электрӣ низ поляризатсияи диэлектрикӣ вучуд дошта метавонад. Пайдоиши *поляризатсияи худ ба худ (спонтанӣ)* дар сегнетоэлектрикҳо, масалан намаки сегнетӣ бо нигарониши гуруҳҳои гидроксилӣ таркиби молекулаҳои он шарҳ меёбад. Дар ҳаҷми сегнетоэлектрикҳо соҳаҳои начандон калон (андозаҳояшон 0,01-0,1 мм) мавҷуданд, ки *доменҳо* (аз фаронсавии лотиниасоси мулк, қаламрав) ном гирифтаанд ва дар онҳо моментҳои диполиҳои молекулаҳо дар натиҷаи ҳамтаъсири зӯри зарраҳо ба ҳамон як сӯ самт доранд. Агар дар ибтидо сегнетоэлектрик дар майдони берунаи электрӣ воқеъ нагардида бошад, доменҳо чун нақшаи кошинкорӣ бетартибона ҷойгиранду дар натиҷа сегнетоэлектрик қутбнок нест. Ин гуна сегнетоэлектрикро дар майдони берунаи электрии

шадидияташ $\vec{E}$ чойгир намуда, вобаста ба он тағйироти вектори индуксияи электрӣ $\vec{D}$ - ро ба қайд мегирием. Аввало ин вобастагӣ ба рафти хати OA (расми 1.46) меафзояд, сипас он аз қимати калони $\vec{D}_c$ (индуксияи сершудаи электрӣ) сар карда, ба таври хаттӣ (чун диэлектрики муқаррарӣ) тағйир меёбад. Ҳангоми индуксия ба қимати D_c расидан тамоми доменҳо суйи вектори $\vec{E}$ нигаронида мешаванд. Агар минбаъд E -ро кам намоем, хати вобастагии $D = f(E)$ на ба рафти AO , балки ба рафти AD_6 паст мефурояд ва дар мавриди $E=0$ индуксияи электрӣ қимати D_6 (*поляризация боқимонда*)-ро мегирад. Барои барҳам додани поляризацияи боқимонда вектори $\vec{E}$ -ро ба самти муқобил гардонда, то қимати $\vec{E}_k$ -и ба истилоҳ *қувваи коэрситивӣ* (аз сухани латинии нигоҳдоранда) зиёд кардан лозим меояд. Агар минбаъд ба ҳамин минвол E афзудан гирад, индуксияи электрӣ то нуқтаи B (гӯё тасвири нуқтаи A дар ойна) ба тарафи муқобил зиёд шуда меравад. Сипас, агар E кам карда шавад, вобастагии $D = f(E)$ ба рафти аз B то $-D_6$ - и микдоран ба D_6 баробар, минбаъд ба рафти $-D_6 E_k A$ тағйир меёбад. Ин гуна вобастагии мураккаби $D = f(E)$ - ро *ҳалқаи гистерезис* (дурусттараш *ҳистерезис* - аз юнонии қафо мондан, таъхир кардан) меноманд. Аз ин вобастагӣ, ки ба ҳар як сегнетоэлектрик шакли хос дорад, бузургии доимӣ намондани ϵ бармеомад ва $\epsilon = f(E)$ буданаш маълум мегардад.



Расми 1.46

Бояд қайд кард, ки дар температураҳои муайян сегнетоэлектрикҳо қимати зиёди ϵ -ро нигоҳ медоранду дар температураи ба ҳар як сегнетоэлектрик хос, *ки нуқтаи Кюри* ном дорад, сегнетоэлектрик ба диэлектрики муқаррарӣ табдил меёбад. Чунончӣ, намаки сегнетӣ хосиятҳои аҷибӣ худро дар температураҳои аз -20 то $+25^\circ\text{C}$, титанати барий бошад, дар интервалҳои аз температураҳои хеле паст то $+125^\circ\text{C}$ нигоҳ медорад.

Ҳангоми истифодаи сегнетоэлектрикҳо дар амал (онҳо хусусан барои тайёр кардани конденсаторҳои ғунҷоиши электриашон хеле зиёд қорбаст мешаванд) бояд ба эътибор гирифт, ки агар баъзе аз онҳоро якбора қутбнок намуда, ба ҳоли худ гузорем, заряднокиашон муддати тӯлонӣ, ҳатто солҳо боқӣ мемонад. Ин гуна диэлектрикҳо *электретҳо* ном гирифтаанд ва онҳо шабеҳи магнитҳои дойимиианд. Усули ҳосил кардани электретҳоро олими японӣ Эгути с. 1922 пешниҳод намуда буд. Омехтаи мум ва катрон (зифт)-ро ғудохта, онро дар майдони электрӣ то пурра сахт шудан нигоҳ медоранд. Дар ин ҳол моменти диполини ангезондашуда гӯё «ях» мекунад ва

диэлектрик ба электрет табдил меёбад. Махз ҳамин гуна диэлектрикҳо дар ҳақиқат кутбнок мешаванд ва ин ҳолати онҳо солҳо боқӣ мемонад. Агар электрет аз таъсироти ҳаво эмин нигоҳ дошта нашлавад, чанд вақт нагузашта, он аз ҳаво ионҳоро ба худ ҷазб менамояд ва қабати кимиёвӣ ба вучуд меояду кутбхоро панаҳ мекунад. Албатта ғудохтани электретҳо боиси гум шудани кутбнокӣи онҳо мегардад.

Дар хотима хотиррасон кардани ҳодисаи дигари боиси таваҷҷӯҳ ба диэлектрикҳоро раво медонем. Чанде аз диэлектрикҳо, ба мисли кварцс, турмалин, намаки сегнетӣ, титанати барий на танҳо бо таъсироти майдони электрӣ, балки хангоми деформатсия (ёзидан ё фишурдан)-и онҳо низ кутбнок мешаванд. Ин ҳодиса *эффекти пьезоэлектри* (аз юнонии *piezo* – фишор меоварам) ном гирифтааст. Ҳодисаи пийезоэлектриро бародарон Пийер ва Жак Кюриҳо с. 1880 кашф карда буданд.

Ҳангоми деформатсияи баъзе кристаллҳо майли гурӯҳҳои молекулаҳо рӯй медиҳад, ки дар натиҷа ионҳои мусбати панҷараи фазовӣ ба як сӯй, ионҳои манфӣ сӯйи дигар мекӯчанду боиси вайроншавии симметрияи кристалл мегарданд. Дар натиҷа кутбнокшавии диэлектрик рӯй медиҳад.

Ҳодисаи баръакси пийезоэлектрӣ низ мушоҳида мешавад: дар ҳоли пийезоэлектрикро дар майдони берунаи электрӣ ҷойгир намудан деформатсияи он рӯй медиҳад, яъне пийезоэлектрик фишурда ё ёзиш меҳӯрад.

Ҳам эффекти пийезоэлектрӣ ва ҳам ҳодисаи баръакси он дар техника татбиқи васеъ ёфтаанд. Масалан, ҳодисаи аввал барои ҷен кардани фишорҳои зудтағйирёбанда (манометрҳои пийезоэлектрӣ), дигаре барои ангезонидани лаппишҳои ултрасадоӣ, ки дар соҳаҳои гуногуни техника, хусусан тиб, ҳарбӣ, инчунин барои устувор нигоҳ доштани лаппишҳои баландбасомади электрӣ истифода мешаванд, зеро устувории лаппишҳои хусусии механикии масалан пийезоквартс хеле баланд аст.

§1.14. Ғунҷоиши электрӣ

Маълум аст, ки агар ба зарфҳои шакл ва андозаҳои гуногун (расми 1.47) микдорҳои баробари моеъ, масалан об андозем, савияҳои моеъҳо (h_1 , h_2 , h_3) фарқ мекунанд. Монанди ҳамин, дар мавриди ба ноқилҳои гуногун интиқол додани ҳамон як микдори заряд, тавре ки таҷрибаҳо нишон медиҳанд, потенциалҳои ноқилҳо нобаробар мешаванд. Ин хусусияти электрии ноқилҳо бо бузургии махсуси ба истилоҳ *ғунҷоиши электрӣ* ё *электрогунҷоиш* тавсиф меёбад.

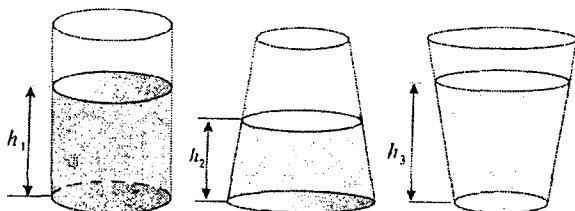
Барои ҳар як ноқили танҳо (аз ҷисмҳои дигар хеле дур воқеъгардида) бузургии потенциали он ба микдори заряди интиқолёфта мутаносибан тағйирот мепазирад. Коэффитсиенти мутаносибии байни заряди ноқил ва потенциали он бо ҳарфи *C* ишорат карда мешавад ва *ғунҷоиши электрии ноқил* ном гирифтааст:

$$\varphi = \frac{1}{C} \cdot q. \quad (1.65)$$

Агар ноқил дар ибтидо то ба потенциали φ_1 заряднок бошад, ҳангоми ба он заряди иловагӣ додан потенциалаш то φ_2 тағйир меёбад, дар ин маврид

$$\Delta\varphi = \frac{1}{C} \Delta q \quad (1.66)$$

мешавад.



Расми 1.47

Ҳамин тариқ, ғунҷоиши электрии ноқили танҳо бо формулаҳои:

$$C = \frac{q}{\varphi} \quad (1.67)$$

ё

$$C = \frac{\Delta q}{\Delta \varphi} \quad (1.68)$$

муайян карда шуданаш мумкин аст. Яъне, ғунҷоиши электрии ноқил ададан ба микдори заряде баробар мебошад, ки потенциали ноқилро ба 1 В тағйир медиҳад.

Ёдовар шудан бамаврид аст, ки ҳарчанд ғунҷоиши ноқил бо нисбати зарядаш бар тағйироти потенциали он муайян карда мешавад, ғунҷош ба микдори заряд ва потенциали ин ноқил вобаста нест. Ғунҷоиши ноқил ба шаклу андозаҳои ин ноқил, инчунин ба хосиятҳои электрии муҳити атрофи ноқил вобаста аст, зеро бо таъсири майдони ноқили заряднок дар муҳити атроф бо сабаби индуксияи электростатикӣ зарядҳо анgezонида мешаванд, ки ба тағйироти потенциали он ноқил оварда метавонад. Дарвоқеъ, потенциали ноқили сферашакли радиусаш R мувофиқи формулаи (1.52) бо дарназардошти нуфузпазирии муҳити атрофи он:

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 \epsilon R} q \quad (1.69)$$

аст, аз ин рӯ ғунҷоиши электрии ин ноқили сферашакл бо формулаи:

$$C = \frac{q}{\varphi} = 4\pi\epsilon_0 \epsilon R \quad (1.70)$$

муайян карда мешавад. Яъне ғунҷоиши электрии ноқили сферашакл танҳо бо радиуси он ва бузургии нуфузпазирии нисбии диэлектрикии муҳити атрофи он вобаста мебошад.

Воҳиди ғунҷоиши электрӣ мувофиқи формулаи (1.67) ё (1.68) муқаррар карда мешавад ва он дар СИ 1 *фарад* (мухтасар 1 Φ ба шарафи М. Фарадей ном гирифтааст:

$$1 \Phi = 1 \text{ Кл/В},$$

яъне, 1 Φ -гунчоиши нокилест, ки агар ба он заряди 1 Кл-ро интиқол диҳем, потенциалаш ба 1 В тағйир меёбад.

Акнун ба эътибор мегирем, ки $4\pi\epsilon_0 = \frac{1}{9 \cdot 10^9} \frac{\text{Кл}}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}$ (ё $\Phi/\text{м}$) асту

дар мавриди $\epsilon = 1$ будан (нокил дар вакуум, амалан дар ҳаво воқеъ гардидааст), мувофиқи (1.70) $C = 1 \Phi$ ба нокили сферашакли радиусаш

$$R = \frac{1\Phi}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ м} = 9 \cdot 10^6 \text{ км}$$

рост меояд. Яъне, 1 Φ гунчоиши хеле бузург аст, аз ин рӯ дар амалия ҳиссаҳои зерини гунчоиши электрӣ истифода мешаванд:

1 пикофарад (1 пФ) = $10^{-12} \Phi$;

1 нанофарад (1 нФ) = $10^{-9} \Phi$;

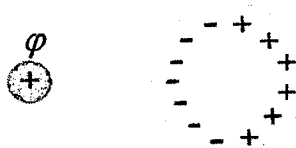
1 микрофарад (1 мкФ) = $10^{-6} \Phi$.

Ба донишҷӯёни шавқманд, тавсия дода мешавад, ки гунчоиши электрии кураи ба Замин баробарро муайян созанд ва анқариб ба 711 мкФ будани он боварӣ ҳосил намоянд.

§1.15. Конденсаторҳо

Дар электро- ва радиотехника, хусусан техникаи лазерӣ гун кардани микдори зиёди заряд лозим меояд. Барои ин мақсад истифодаи гунчоиши нокилҳои танҳо созгор нест. Тавре ки аз §1.14 бармеояд, барои ҳосил кардани гунчоиши 1 Φ сферае лозим аст, ки радиусаш назар ба радиуси Замин 1400 маротиба калон бошад. Аз ин рӯ системаи ду ё якчанд нокилҳо мавриди истифода қарор меёбад.

Ду нокили аз ҳам бо қабати тунуки диэлектрик ҷудо дорои гунчоиши зиёди электрӣ буда метавонанд. Ин гуна системаи нокилҳо *конденсатор* ном дорад (аз сухани латинӣ зич, ғализ кардан). Истифодаи системаи аз ду нокил иборат чунин шарҳ меёбад. Агар ба нокили танҳои то потенциали ϕ заряднок (масалан мусбат) нокили дигари безарядро наздик оварем (расми 1.48), дар нокили дуюм дар натиҷаи индуксияи электростатикӣ зарядҳо анgezонида мешаванд. Дар сатҳи ба нокили якум наздиктар зарядҳои муқобилчунс (дар мисоли мо манфӣ) ҷамъ мешаванду майдони нокили якумро суз ва аз ин рӯ потенциали онро кам меkunанд, ҳарчанд дар сатҳи дуртари нокили дуюм зарядҳои ба заряди нокили якум ҳамчунс (дар мисоли мо мусбат) анgezонидаву потенциали нокили якумро қадре афзун мегардонанд. Дар натиҷа потенциали нокили якум $\phi' < \phi$ мешавад ва аз ин рӯ мувофиқи формулаи (1.67) гунчоиши система хеле афзуда метавонад.



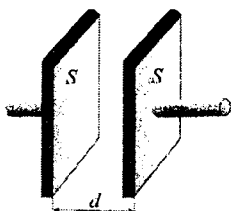
Расми 1.48

Ғунҷоиши ҳар гуна конденсатор бо нисбати зарди яке аз нокилҳо (рӯяхо) бар фарқи потенциалҳои байни рӯяхо муайян карда мешавад:

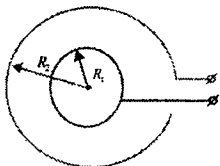
$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} = \frac{q}{U} \quad (1.71)$$

Вобаста ба шакли нокилҳо конденсаторҳои ҳамвор, сферӣ ва цилиндриро фарқ мекунанд.

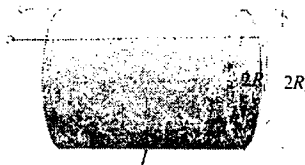
Конденсатори ҳамвор. Конденсатори соддатарине, ки аз ду лавҳаи металли параллелан ҷойгирбудаи масоҳати ҳар яке S ва бо қабати тунуки диэлектрик, аз ҷумла ҳавоӣ ғафснаш d аз ҳам ҷудо таркиб ёфтааст (расми 1.49), конденсатори ҳамвор мебошад. Бештар конденсатори ҳамворро аз ду навори нафиси металлӣ (фолга)-и бо қабати тунуки қоғазӣ рағанолауд ё парафинӣ ҷудо ва ба шакли ҷоркунча ё ғалтакмонанд печонидаи бо ягон моддаи саҳти муҳофизатӣ, масалан сафол, плаstmасса рӯйпӯш тайёр мекунанд. Сатҳи пурраи ин гуна конденсатор хеле бузургӯ фосилаи байни рӯяхо ба ғафсии диэлектрики қоғазӣ баробар аст.



Расми 1.49



Расми 1.50



Расми 1.51

Азбаски дар байни ду рӯйи параллелии гуногунҷинс заряднок шиддат мувофиқи формулаи (1.50) муайян карда мешавад, бо дарназардошти қабати диэлектрики байни онҳо ғунҷоиши конденсатори ҳамвор:

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d} \quad (1.72)$$

буданаш маълум мегардад.

Бояд қайд кард, ки дар амалия намуди махсуси конденсатори ҳамвор *конденсаторҳои электролитӣ* низ истифода мешавад. Дар ингуна конденсаторҳо масоҳати рӯяхо чандон бузург нест, вале фосилаи байни онҳо бо ғафсии қабати кимиёвие муайян карда мешавад, ки аз 10 то 100 атом иборат буда метавонад. Аз ин рӯ d ҷунун хурд аст, ки мувофиқи (1.72) ин гуна конденсатор дорои ғунҷоиши зиёд мегардад. Дар ин маврид қабати тунуки кимиёвӣ то замоне боқӣ мемонад, ки майдони электрӣ самти муайян дошта бошад. Ҳамин аст, ки дар конденсатори электролитӣ кутбоҳо ҳатман нишон дода мешаванд ва ҳангоми пайваст дар схемаҳои электрӣ роияи кутбоҳо ҳатмист, вагарна конденсатор ба зудӣ аз кор мебарояд.

Конденсатори сферавӣ аз ду сфераи ҳаммаркази радиусҳои R_1 ва R_2 , ки андаруни якдигар ҷойгиранд (расми 1.50) ва аз ҳам бо

кабати диэлектрики ғафсиаш $d=R_2-R_1$ чудобуда таркиб меёбад. Мувофиқи формулаи (1.52) потенциалҳои сфераҳои заряднок:

$$\varphi_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 \epsilon R_1} |q|; \quad \varphi_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 \epsilon R_2} |q|;$$

буданаширо доништа, фарқи потенциалҳояшонро муайян кардан душвор нест:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{|q|}{4\pi\epsilon_0 \epsilon} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right).$$

Аз ин рӯ гуногуноии конденсатори сферавӣ дар асоси (1.71) бо формулаи

$$C = \frac{4\pi\epsilon_0 \epsilon R_1 R_2}{R_2 - R_1} \quad (1.73)$$

муайян карда мешавад.

Конденсатори силиндрӣ аз ду силиндри дарунхолии ҳаммехвари радиусҳояшон R_1 ва R_2 , дарозияшон l - и андаруни якдигар бо кабати диэлектрики ғафсиаш $d=R_2-R_1$ чудобуда (расми 1.51) таркиб ёфтааст. Фарқи потенциалҳои ин ду силиндри бо зичии ҳаттии $\lambda=|q|/l$ заряднок мувофиқи (1.54) бо дарназардошти кабати диэлектрики байни онҳо бо формулаи:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 \epsilon} \ln \frac{R_2}{R_1} = \frac{|q|}{2\pi\epsilon_0 \epsilon l} \ln \frac{R_2}{R_1}$$

муайян карда мешавад. Аз ин рӯ гуногуноии конденсатори силиндрӣ:

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0 \epsilon l}{\ln(R_2/R_1)} \quad (1.74)$$

буданаширо маълум мегардад.

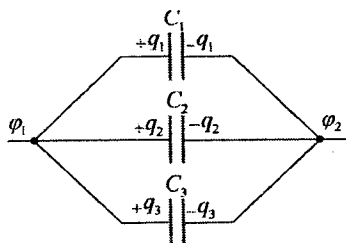
Ҳамин тариқ, аз муқоисаи формулаҳои (1.72)-(1.74) бармеояд, ки гуногуноии конденсаторҳо ба шакли андозаҳои рӯяхо, фосилаи байни онҳо ва нуфузпазирии диэлектрики байни рӯяхо ϵ вобаста мебошад. Аз ин рӯ барои зиёд кардани гуногуноии конденсаторҳо ҳамчун диэлектрик сегнетоэлектрикхоро истифода мебаранд.

Хотиррасон кардан бамаврид аст, ки миқдори заряди дар конденсатор ғуншаванда на танҳо ба шакли андозаҳои рӯяхояш, балки вобаста ба ғафсии диэлектрики байни рӯяхо бо шиддати рахнавии ин диэлектрик маҳдуд мегардад. Гап дар он аст, ки ҳар як диэлектрик вобаста ба ϵ ҳосиятҳои худро то шиддатҳои муайяни байни рӯяхо ҳифз менамояд. Дар *шиддати* ба истилоҳ *рахнавӣ* бо таъсири майдони пурзӯри электрӣ аз баъзе молекулаҳои диэлектрик электронҳои баста қанда мешаванду зарядҳои озод ба вучуд меоянд ва онҳо сабабгори аз диэлектрик гузаштани ҷараён мегарданд. Тавре ки мегӯянд, диэлектрик рахна мешаваду конденсатор қобилияти ғун кардани зарядҳоро гум менамояд. Ҳамин аст, ки дар ҳар як конденсатор дар қатори бузургии гуногуноӣ то кадом шиддат заряднок кардани он сабот меёбад.

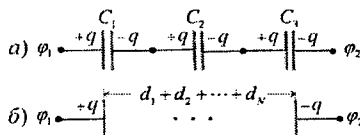
§1.16. Пайвасти конденсаторҳо

Барои ҳосил кардани ғунҷоишҳои зарурӣ бо истифодаи конденсаторҳои мавҷудан ғунҷоиш ва шиддати кориашон маълум пайвасти онҳо дар батарея, яъне ғуруҳбандӣ сохтан татбиқ меёбад. Асосан ду усули пайвасти: параллелӣ ва пай дар пайро қорбасти менамоянд. Бояд хотиррасон кард, ки дар схемаҳои электрӣ конденсаторро бо рамзи || тасвир месозанд.

Пайвасти параллелӣ. Ин усулро дар мисоли пайвасти се то конденсатор намоиш медиҳем. Агар рӯяҳои чапи конденсаторҳо дар як нукта, рӯяҳои рости онҳо дар нуктаи дигар васл карда шаванд, пайвасти параллелӣ ташкил меёбад (расми 1.52).



Расми 1.52



Расми 1.53

Дар ҳоли ин ғуна батареяро ба манбаи шиддаташ U васл сохтан, ҳар як рӯи ин конденсаторҳо мувофиқи ғунҷоишашон зарядҳои $|q_1| = C_1 U$, $|q_2| = C_2 U$, ва $|q_3| = C_3 U$ - ро ғун мекунанд. Он гоҳ заряди умумии аз манбаъ интиқолифта:

$$q_{\text{ум}} = q_1 + q_2 + q_3$$

ва аз ин рӯ

$$C_{\text{ум}} = C_1 + C_2 + C_3. \quad (1.75)$$

Яъне, ҳангоми пайвасти параллелии конденсаторҳо ғунҷоиши умумӣ:

$$C_{\text{ум}} = \sum_{i=1}^n C_i, \quad (1.76)$$

мешавад. Агар N -то конденсаторҳои якандозаи ғунҷоишашон $C_1 = C_2 = \dots = C_N = C$ -ро параллелан васл созем,

$$C_{\text{ум}} = NC \quad (1.77)$$

шуданашро истифода бурда метавонем.

Ҳамин тарик, конденсаторҳоро параллелан пайвасти карда, ғунҷоиши натиҷавӣ зиёдтарро дастрас гардондан имконпазир аст. Ин хулоса бо он шарҳ меёбад, ки дар пайвасти параллелӣ масоҳатҳои рӯяҳо ҳаме мешавад.

Пайвасти пай дар пай. Агар рӯи рости конденсатори якум бо рӯи чапи конденсатори дуюм, рӯи рости конденсатори дуюм бо рӯи чапи конденсатори сеюм ва ҳоказо васл бошанд, пайвасти пай дар пайи конденсаторҳо ҳосил мешавад (расми 1.53 а). Дар ҳоли ба рӯи чапи конденсатори якум интиқол додани заряди $+q$ дар рӯи рости он

ба туфайли индуксияи электростатикӣ заряди $-q$, аз ин рӯ дар рӯи ростии конденсатори дуом заряди $+q$ (то манбаии шиддат васл сохтан онҳо безаряд буданд) ва ҳоказо, дар рӯи ростии конденсатори сеюм заряди $-q$ ангезонида мешавад. Ҳамин тарик, хангоми пайвасти пай дар пай микдори зарядҳои ҳама рӯяхои конденсаторҳои батарея модулан баробаранд. Шиддати ингуна батареяи конденсаторхоро (ғунҷоиши ҳар як конденсатор гуногун доништа мешавад) чунин пешниҳод кардан мумкин аст:

$$U_{ym} = \varphi_1 - \varphi_2 = (\varphi_1 - \varphi'_1) + (\varphi'_1 - \varphi'_2) + (\varphi'_2 - \varphi_2) = U_1 + U_2 + U_3 \quad (1.78)$$

Яъне, хангоми пайвасти пай дар пайи конденсаторҳо шиддати батарея ба ҳосили ҷамъи шиддатҳои ҳар як конденсатор баробар аст. Аз ин рӯ баробарии зеринро сабт кардан равоост:

$$\frac{q_{ym}}{C_{ym}} = \frac{|q_1|}{C_1} + \frac{|q_2|}{C_2} + \frac{|q_3|}{C_3}$$

ё ки

$$\frac{1}{C_{ym}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \quad (1.79)$$

Пас, дар мавриди N -то конденсаторхоро бо ин усул пайваст намудан:

$$\frac{1}{C_{ym}} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{C_i} \quad (1.80)$$

мешавад. Аз ин рӯ, агар N -то конденсаторҳои якандоза:

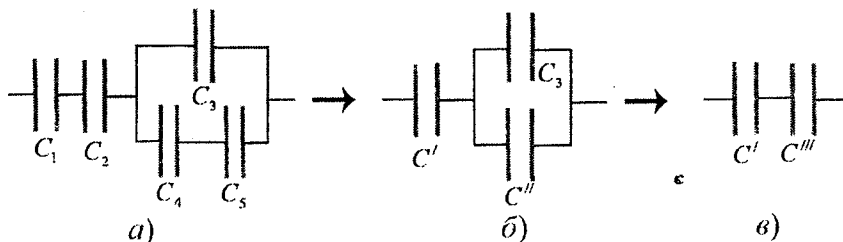
$C_1 = C_2 = \dots = C_N = C$ – ро пай дар пай васл созем:

$$C_{ym} = \frac{C}{N} \quad (1.81)$$

буданаш бармеоҷад.

Аз формулаҳои (1.79)-(1.81) маълум мешавад, ки хангоми пайвасти пай дар пайи конденсаторҳо ғунҷоиши натиҷавии ҳатто назар ба ғунҷоиши аз ҳама хурдтарини конденсатори батарея камтарро ҳосил кардан мумкин аст. Ин хулоса бо он шарҳ меёбад, ки пайвасти пай дар пайи конденсаторҳо ба аз ҳам дур андохтани рӯяхои ҳамон як конденсатор мувофиқ меояд (расми 1.53 б).

Дар занҷирҳои мураккаби электрӣ пайвасти омехтаи конденсаторҳо низ дучор меояд, ки онро ба усулҳои пай дар паю параллел овардан мумкин аст. Дар расми 1.54 а намунаи чунин пайваст тасвир ёфтааст.



Расми 1.54

Бигуздор $C_1 = C_2 = \dots = C_5 = C = 6$ мкФ бошад, он гоҳ онро аввало бо схемаи 1.54 б, ки дар он $\frac{1}{C'} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$; $\frac{1}{C''} = \frac{1}{C_4} + \frac{1}{C_5}$ ва аз ин рӯ

$C' = C'' = \frac{C}{2} = 3$ мкФ мешавад, иваз карда метавонем. Дар натиҷа схемаи 1.54, в ҳосил мешавад, ки дар он $C''' = C_3 + C'' = 6 + 3 = 9$ мкФ аст.

Ҳамин тариқ, мувофиқи расми 1.54 в:

$$\frac{1}{C_{\text{ум}}} = \frac{1}{C'} + \frac{1}{C'''}$$

ё ки

$$C_{\text{ум}} = \frac{C' \cdot C'''}{C' + C'''} = \frac{3 \cdot 9}{3 + 9} = \frac{3 \cdot 9}{12} = \frac{9}{4} = 2,25 \text{ мкФ}$$

буданаш маълум мегардад.

Мисоли 1.14. Конденсаторҳои ғунҷоишашон $C_1 = 3$ мкФ ва $C_2 = 6$ мкФ - ро, ки параллелан пайвастанд, пай дар пай васл созем, ғунҷоиши натиҷавӣ чанд маротиба тағйир меёбад?

Маълумот:

$$\left. \begin{aligned} C_1 &= 3 \text{ мкФ} \\ C_2 &= 6 \text{ мкФ} \\ C_{\text{пай}} / C_{\text{пар}} &= ? \end{aligned} \right\}$$

Ҳал
Хангоми параллелан
пайвастанд будани конден-
саторҳои мазкур:
 $C_{\text{пар}} = C_1 + C_2 = 3 \text{ мкФ} + 6 \text{ мкФ}$
 $= 9 \text{ мкФ}$

буда, дар мавриди пай дар пай васл кардани онҳо:

$$C_{\text{пай}} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} = \frac{3 \text{ мкФ} \cdot 6 \text{ мкФ}}{3 \text{ мкФ} + 6 \text{ мкФ}} = 2 \text{ мкФ}$$

ва аз ин рӯ:

$$\frac{C_{\text{пай}}}{C_{\text{пар}}} = \frac{2}{9},$$

яъне дар натиҷа ғунҷоиш 4,5 маротиба кам мешавад.

Ҷавоб: $\frac{C_{\text{пай}}}{C_{\text{пар}}} = \frac{2}{9}.$

Мисоли 1.15. Фазон байни рӯяхон конденсатори ҳавоии ҳамвор, ки масоҳати ҳар яке S , фосилаи байнашон d мебошад, қисман ба диэлектрики нуфузпазирии нисбиаш ϵ пур карда мешавад. Пас аз он ғунҷоиши ингуна конденсатор чӣ гуна тағйир меёбад? Ду мавриди алоҳида: а) диэлектрик то нисфи рӯяхоро пур мекунад; б) диэлектрик то нисфи ҳаҷми фазоро дарбар мегирад, муҳокима карда шавад.

Маълумот:

$$\left. \begin{array}{l} S, d, \varepsilon \\ C \\ C_0 - ? \end{array} \right|$$

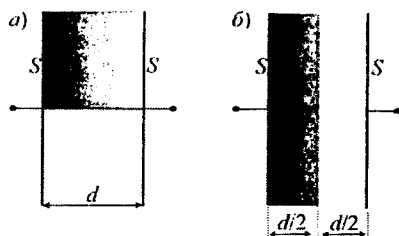
Ҳал

Дар мавриди аввал (расми 1.55, а) конденсаторро чун ду конденсатори параллелан пайвасти ғунҷоишашон:

$$C = C_1 + C_2,$$

ки ғунҷоиши ҳар яке:

$$C_1 = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S / 2}{d} = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{2d}; \quad C_2 = \frac{\varepsilon_0 S / 2}{d} = \frac{\varepsilon_0 S}{2d},$$



Расми 1.55

кабул кардан мумкин аст, аз ин рӯ

$$C = C_1 + C_2 = \frac{(\varepsilon + 1)\varepsilon_0 S}{2d} = \frac{\varepsilon + 1}{2} C_0$$

мебошад (дар ин ҷо $C_0 = \varepsilon_0 S / d$ - ғунҷоиши ибтидоии конденсатори ҳамвори ҳавоист). Яъне, ғунҷоиши натиҷавӣ $\frac{\varepsilon + 1}{2}$ маротиба меафзояд.

Дар мавриди дуюм (расми 1.55, б) конденсаторро чун ду конденсатори пай дар пай васли ғунҷоиши ҳар яке:

$$C'_1 = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d/2} = \frac{2\varepsilon \varepsilon_0 S}{d}; \quad C'_2 = \frac{\varepsilon_0 S}{d/2} = \frac{2\varepsilon_0 S}{d},$$

кабул кардан рост меояд. Аз ин рӯ:

$$C' = \frac{C'_1 C'_2}{C'_1 + C'_2} = \frac{4\varepsilon_0^2 \varepsilon S^2}{d^2} \cdot \frac{d}{2\varepsilon_0 S(\varepsilon + 1)} = \frac{2\varepsilon}{\varepsilon + 1} \cdot \frac{\varepsilon_0 S}{d} = \frac{2\varepsilon}{\varepsilon + 1} C_0$$

буданаш маълум мегардад. Яъне, ғунҷоиши натиҷавӣ $\frac{2\varepsilon}{\varepsilon + 1}$ маротиба назар ба ғунҷоиши ибтидоӣ меафзояд.

Ҷавоб: а) $\frac{C}{C_0} = \frac{\varepsilon + 1}{2}$; б) $\frac{C}{C_0} = \frac{2\varepsilon}{\varepsilon + 1}$.

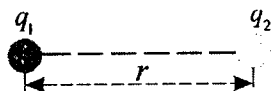
§1.17. Энергияи майдони электростатикӣ

Мафҳуми энергия дар физика аҳамияти хосса дорад. Пеш аз ҳама, қонуни бақои энергия ҳама вақт амал мекунад. Сониян, омӯхтани ҳодисаҳои электрӣ аз диди энергетикӣ ҳаллу фасли бисёр масъалаҳои ин соҳаро содда мегардонад. Аз ин рӯ баъзе мавридҳои

бо энергияи электрӣ алоқамандро баррасӣ намудан аз ғойида ҳолӣ нест.

Энергияи системаи зарядҳои нуқтавӣ. Тавре ки дар §1.8 зикр ёфт, қисми зарядҳои дар майдони электрӣ воқеъгардида дорои энергия мебошад. Ҳар як заряди система бо сабаби он, ки дар майдони зарядҳои боқимондаи ин система ҷойгир аст, бояд бо микдори энергияе тавсиф дода шавад.

Мавриди системаи аз ду заряди нуқтавии q_1 ва q_2 таркибёфтаре муҳокима менамоем (расми 1.56).



Расми 1.56

Заряди q_1 дар майдони заряди q_2 воқеъгардидааст, аз ин рӯ он мувофиқи (1.38) дорои энергияи потенциалии:

$$W_1 = q_1 \varphi_1 \quad (1.82)$$

мебошад, ки дар ин ҷо:

$$\varphi_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_2}{r} \quad (1.83)$$

потенциали майдони заряди q_2 дар нуқтае, ки заряди q_1 воқеъгардидааст. Аз ин рӯ:

$$W_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r} \quad (1.84)$$

мебошад. Айнан ҳамин тавр, дар навбати худ заряди q_2 дар майдони заряди q_1 ҷойгир асту дорои энергияи потенциалии:

$$W_2 = q_2 \varphi_2 \quad (1.85)$$

ва мисли (1.83):

$$\varphi_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1}{r}, \quad (1.86)$$

инчунин:

$$W_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r} = W_1$$

буданаш тасдиқ мешавад.

Бояд хотиррасон кард, ки:

$$W = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r} \quad (1.87)$$

чун энергияи потенциалии ҳамтаъсири системаи ду заряди нуқтавии q_1 ва q_2 доништа мешавад. Дар асоси (1.82) ва (1.85) энергияи системаро чун:

$$W = \frac{1}{2} (q_1 \varphi_1 + q_2 \varphi_2) \quad (1.88)$$

пешниҳод кардан маъмул гаштааст. Ҳамин гуна мулоҳизаронири барои системаи аз N -то заряди нуктавӣ таркибёфта раво дидан табиист, аз ин рӯ системаи мазкур дорои энергияи

$$W = \frac{1}{2} (q_1 \varphi_1 + q_2 \varphi_2 + \dots + q_N \varphi_N) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N q_i \varphi_i \quad (1.89)$$

(дар ин ҷо φ_i потенциали майдони зарядҳои боқимонда дар нуктаи заряди q_i воқеъгардида) мебошад.

Энергияи нокили заряднок. Заряднокшавии нокилро чун раванди мунтазам афзудани миқдори электри он баррасӣ намудан раво аст. Вале баробари афзудани миқдори электри нокил мувофиқан потенциали он низ баланд мешаваду барои минбаъд ба ин нокил интиқол додани заряди иловагӣ ҳамон аломат зидди қувваҳои ҳамтаъсирот ҳарчӣ қариб зиддтарро иҷро кардан лозим меояд. Барои ба кадри $d\varphi$ афзудани потенциали нокил қариб элементарии $\delta A = q d\varphi$ бояд иҷро кард. Бо дарназардошти $q = C\varphi$ ба кадри аз 0 то φ афзудани потенциали нокил қариб формулаи:

$$A = \int_0^{\varphi} C \varphi d\varphi = \frac{1}{2} C \varphi^2 = \frac{1}{2} q \varphi = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C}$$

ба ҳисоб гирифта мешавад. Ин қариб, таърифи ки маълум аст, боиси тағйироти энергия мегардад. Ба тӯфайли дар ибтидо безаряд будани нокил барои энергияи нокили заряднок ифодаи зеринро пешниҳод карда метавонем:

$$W = \frac{1}{2} q \varphi = \frac{1}{2} C \varphi^2 = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C} \quad (1.90)$$

Бояд қайд кард, ки сатҳи ҳар гуна нокили заряднок эквипотенсиалӣ мебошад, аз ин рӯ миқдори электри нокилро чун системаи зарядҳои нуктавӣ:

$$q = \Delta q_1 + \Delta q_2 + \dots + \Delta q_N = \sum_{i=1}^N \Delta q_i$$

дониста, мувофиқи формулаи (1.89) энергияи онро ба ҳисоб гирифтани мумкин аст:

$$W = \frac{1}{2} (\Delta q_1 \varphi + \Delta q_2 \varphi + \dots + \Delta q_N \varphi) = \frac{1}{2} \varphi \sum_{i=1}^N \Delta q_i = \frac{1}{2} q \varphi,$$

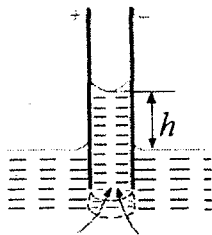
ки бо натиҷаи ҳисоби қариб мувофиқи (1.90) рост меояд.

Энергияи конденсатори заряднок. Ҳама мулоҳизаҳои оид ба энергияи нокили заряднок рондаамонро ба конденсатори заряднок низ раво дониста метавонем. Зеро раванди заряднокшавии конденсаторро чун қариб қўшондани заряд аз як рӯя то рӯяи дигар ҳисоб кардан мумкин аст. Барои муқаррар кардани энергияи конденсатор дар формулаи (1.90) иваз намудани потенциал ба шиддати байни рӯяҳо қофист:

$$W = \frac{1}{2} q U = \frac{1}{2} C U^2 = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C} \quad (1.91)$$

Ба ин муносибат бо ҳодисае шинос мешавем, ки бо энергияи конденсатори заряднок алоқаманд аст. Агар рӯяҳои конденсатори

ҳамвори ҳавоии то $+q$ ва $-q$ заряднокро қадре ба диэлектрики моеъ ғўтонем (расми 1.57), як қисми фазои байни рўяхоро моеъ ишғол менамояд, он яъне назар ба сатҳи диэлектрики моеъ то ба баландии h болотар мебарояд.



Расми 57

Агар ҳиссаи бо моеъ ишғолкардаи сатҳи рўяхо x бошад, масоҳати ин қисм xS ва масоҳати қисми боқимондаи ҳавоӣ $(1-x)S$ мешавад. Ин гуна системаро чун ду конденсатори параллелан пайваस्तбудаи ғунҷоши умумиашон:

$$C = C_1 + C_2 = \frac{\epsilon_0(1-x)S}{d} + \frac{\epsilon\epsilon_0 xS}{d} = \frac{\epsilon_0 S}{d} + \frac{(\epsilon-1)x\epsilon_0 S}{d} = C_0 + (\epsilon-1)x C_0 > C_0$$

ҳисоб кардан равоаст. Энергияи ин система $W = \frac{q^2}{2C}$ назар ба энергияи

конденсатори ҳавоӣ $W_0 = \frac{q^2}{2C_0}$ кам ва аз ин рӯ қисман бо диэлектрики

моеи нуфузпазириаш $\epsilon > 1$ пур шудани фазои байни рўяхо аз ҷиҳати энергетикӣ мусонидтар мебошад. Пас, диэлектрик ба конденсатор ҷаббидаву савияи он ба қадри h болотар мебарояд. Ин боиси афзудани энергияи потенциалии диэлектрик дар майдони ҷозоба мегардад. Дар натиҷа савияи диэлектрик дар баландии h барқарор мешавад, ки ба минимуми энергияи умумӣ (дар майдонҳои электрию ҷозоба) мувофиқ меояд. Ин ҳодиса чунин шарҳ меёбад: молекулаҳои диэлектрик дорои моменти диполианд ё ин момент тавлид меёбад. Дар натиҷа бо сабаби дар канорҳои рўяхо майдони электрии ғайриҷинса буданаш диэлектрики поляризаторсиягардида ба соҳаҳои зўртари майдон, яъне андаруни фазои байни рўяхо (ба мисли когазпораҳо ба шонаи заряднок) ҷазб карда мешавад. Ба диэлектрик ҳамзамон қувваҳои электрию вазнинӣ таъсир мекунад ва он ба қадре боло мебарояд, ки ин ду қувва ба мувозанат оянд.

Энергияи майдони электростатикӣ. Савол меояд, ки оё энергияи барои ноқил ва конденсатори заряднок муқарраршуда ба зарядҳо ё майдони дар атрофи ин зарядҳо мавҷуда мансуб аст? Барои ба ин савол ҷавоб дарёфтани дар ифодаи (1.91) ба ҷойи ғунҷоши конденсатор формулаи (1.72)-ро баргузор менамоем:

$$W = \frac{1}{2} \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d} U^2 = \frac{1}{2} \epsilon\epsilon_0 E^2 S d = \frac{1}{2} \epsilon\epsilon_0 E^2 V. \quad (1.92)$$

Дар ин ҷо ба эътибор гирифта шуд, ки $U = Ed$ ва $Sd = V$ -ҳаҷми диэлектрики фазои байни рўяхоро ишғолкарда аст.

Агар мафхуми *зичии ҳаҷмӣ* энергияро мувофиқи формулаи:

$$w = W/V \quad (1.93)$$

ворид созем, он гоҳ аз (1.92) бармеояд, ки

$$w_E = \frac{1}{2} \varepsilon \varepsilon_0 E^2 \quad (1.94)$$

мебошад. Яъне, зичии ҳаҷмӣ энергияи майдони электрӣ бо бузургии тавсифдиҳандаи қуввагии майдон - шадидият муайян карда мешавад. Аз ин рӯ табиист, ки зичии ҳаҷмӣ энергия (1.94) ба майдони электрӣ тааллуқ доштанашро тасдиқ намоем.

Мисоли 1.16 Конденсатори ғунҷоишаш $C_1 = 2 \text{ мкФ}$ -ро, ки аз манбаи шиддаташ $U = 12 \text{ В}$ заряднок шудааст, аз манбаъ ҷудо карда, ба конденсатори безаряди ғунҷоишаш $C_2 = 3 \text{ мкФ}$ параллелан васл сохтанд. Шиддати конденсаторҳо пас аз васлсозӣ муайян карда шавад. Дар ин ҳангом чӣ қадар энергия хориҷ мегардад?

Маълумот:

$$C_1 = 2 \text{ мкФ} = 2,0 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$$

$$C_2 = 3 \text{ мкФ} = 3,0 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$$

$$U_1 = 12 \text{ В}$$

$$U_2 = ? \quad \Delta W = ?$$

Ҳал

Ҳангоми параллелан пайвастанӣ конденсаторҳо (баъди аз манбаъ ҷудо кардан) конденсатори якҷум як микдор зарядашро ба конденсатори дуюм интиқол медиҳад ва ин раванд то баробар шудани шиддати ҳарду конденсатор идома меёбад.

Мувофиқи қонуни бақои заряд баробарии:

$$q_1 = q_1' + q_2$$

ҷой дорад, ки дар ин ҷо $q_1 = C_1 U_1$ - заряди ғунҷардан конденсатори якҷум то васлсозӣ, $q_1' = C_1 U_2$ ва $q_2 = C_2 U_2$ - зарядҳои конденсаторҳо баъди васлсозӣ мебошанд.

Аз ин рӯ:

$$C_1 U_1 = C_1 U_2 + C_2 U_2 = (C_1 + C_2) U_2$$

шуданашро дониста, шиддати матлуб U_2 -ро муайян карда метавонем:

$$U_2 = \frac{C_1}{C_1 + C_2} U_1 = \frac{2 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}}{5 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}} \cdot 12 \text{ В} = 4,8 \text{ В}.$$

Тағйироти энергия, яъне микдори гармие, ки ҳангоми васлсозӣ хориҷ мегардад, ба фарқи энергияҳо то ва баъди васлсозӣ баробар буданаш мувофиқи қонуни бақои энергия бармеояд:

$$\begin{aligned} \Delta W = W_2 - W_1 &= \frac{1}{2} (C_1 + C_2) U_2^2 - \frac{1}{2} C_1 U_1^2 = \frac{1}{2} \cdot 5 \cdot 10^{-6} \text{ Ф} \cdot (4,8 \text{ В})^2 - \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 10^{-6} \text{ Ф} \cdot 12 \text{ В} = \\ &= (57,6 - 144) \cdot 10^{-6} \text{ Дж} = -86,4 \cdot 10^{-6} \text{ Дж} = -86,4 \text{ мкДж}. \end{aligned}$$

Яъне, баъди пайвастанӣ конденсаторҳо энергия ба қадри $86,4 \text{ мкДж}$ кам мешавад, ки бо паридани шарораву хориҷ гардидани микдори гармии $Q = |\Delta W|$ шарҳ меёбад.

Ҷавоб: $U_2 = 4,8 \text{ В}$; $\Delta W = -86,4 \text{ мкҶ}$.

Машқи 1

1.1. Масса ва заряди кулли электронҳои тамоми молекулаҳои 1 л об чӣ қадаранд?

($\approx 0,3 \text{ г}$; 53 МКл)

1.2. Ду курачаи айнан якхела, ки яке дорои заряди $q_1 = 6 \text{ нКл}$ ва дигаре $q_2 = -38 \text{ нКл}$ мебошанд, ба ҳам расонда ба масофае дур карданд. Баъд аз ин ҳар яке аз курачаҳо дорои чандто электрони зиёдатӣ гаштанд?

($N_1 = N_2 = 10^{11}$)

1.3. Курачаҳои айнан якхелаи дорои зарядҳои $q_1 = 2q$ ва $q_2 = 8q$ - ро, ки дар масофае ҷойгир буданд, ба ҳам расонида боз ба ҳамон масофа дур карданд. Бузургии қувваҳои ҳамтаъсирот баъди ин амал чанд маротиба тағйир ёфт?

($\approx 1,6$ маротиба меафзояд)

1.4. Ду курачаи хеле хурди айнан якхелаи массаашон $m_1 = m_2 = m = 25 \text{ мг}$ дар нӯги ресмонҳои дарозихояшон баробари $l_1 = l_2 = l = 30 \text{ см}$ овеzonанд. Курачаҳоро қадре заряднок карданд, ки дар натиҷа ресмонҳо аз хати амудӣ ба кунҷи $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha = 45^\circ$ дур шуданд. Зарядҳои курачаҳо чӣ қадарӣ будаанд?

($q_1 = q_2 = q = 7 \text{ нКл}$)

1.5. Ду курачаи зарядноки айнан якхеларо дар нӯги ресмонҳои дарозияшон баробар овеzon карда ба карасин ($\varepsilon = 2$) ғўтонданд. Кунҷи каноршавии ресмонҳо ба туфайли таладиҳии кулонӣ дар ҳаво ва дар карасин бетағйир монд. Аз ин маълумот зичии моддаи курачаҳо муайян кард шавад.

($D_0 = 1,6 \text{ г/см}^3$)

1.6. Заряди нуқтавии $q = 5 \text{ нКл}$ аз ду заряди $q_1 = q_2 = 20 \text{ нКл}$ дар фосилаҳои $r_1 = 3 \text{ см}$ ва $r_2 = 4 \text{ см}$ ҷойгир аст. Қувваи натиҷавие, ки ба заряди q таъсир менамояд, чӣ қадар мебошад?

($\approx 1,5 \text{ мН}$)

1.7. Шадиияти майдони зарядҳои нуқтавии $q_1 = -10 \text{ нКл}$ ва $q_2 = 40 \text{ нКл}$, ки фосилаи байнашон $r = 8 \text{ см}$ аст, дар нуқтаи аз заряди якум дар масофаи $r_1 = 3 \text{ см}$ ва аз заряди дуюм дар масофаи $r_2 = 6 \text{ см}$ воқеъгардида муайян карда шавад.

(175 кВ/м)

1.8. Шадиияти майдони диполи электрии моменташ $p = 1,5 \text{ нКл} \cdot \text{м}$ дар нуқтае ёфта шавад, ки аз миёнҷойи дипол дар масофаи $r = 10 \text{ см}$ воқеъ гардида, радиус-векторааш бо меҳвари дипол кунҷи $\alpha = 60^\circ$ ташкил медиҳад.

(132 кВ/м).

1.9. Курачаи пӯлодини радиусаш $r=1$ мм (зичиаш $D_n=7,8 \cdot 10^3$ кг/м³) ба глитсерин ($D_n=1,26 \cdot 10^3$ кг/м³) ғўтонда шудааст. Агар курача дар майдони якчинсаи электрии шадидияташ $E=500$ кВ/м, ки амудан ба боло равона мебошад, муаллақ монад, микдори заряди курача чӣ қадар будааст?

($\approx 0,5$ нКл)

1.10. Шадиияти майдони электростатикиро дар нуқтае ёбед, ки дар хати рости зарядҳои $q_1=10$ нКл ва $q_2=-40$ нКл васлсозанда дар фосилаи $r_1=3$ см аз заряди манфӣ воқеъ гардидааст. Масофаи байни зарядҳо $l=12$ см мебошад.

($E=200$ кВ/м)

1.11. Майдони электростатикиро ду ҳамвории параллелии беохири мунтазам бо зичии сатҳии $\sigma_1=5$ нКл/м² ва $\sigma_2=3$ нКл/м² заряднокбуда ба вучуд овардаанд. Шадиияти майдонро: а) дар байни ҳамворихо ва б) дар беруни ҳамворихо муайян намоед.

($E_a=113$ В/м; $E_b=282,5$ В/м)

1.12. Кураи шишагини радиусаш $R=10$ см ($\varepsilon=7$) бо зичии ҳаҷмии $\rho=10$ нКл/м³ заряднок карда шудааст. Шадиияти майдони электростатикии кура: 1) дар фосилаи $r_1=5$ см аз маркази кура; 2) дар сатҳи кура; 3) дар масофаи $r_2=15$ см аз маркази кура ёфта шавад.

($E_1=2,7$ В/м; $E_2=5,38$ В/м; $E_3=16,74$ В/м)

1.13. Майдони электростатикиро силиндри борики дарози бо зичии ҳатии $\lambda=10$ нКл/см заряднок ба вучуд овардааст. Протон ($q=|e|$) аз цилиндр дар масофаи аз $r_1=2$ см то $r_2=5$ см дур мешавад. Кори майдонро муайян намоед.

($16,5$ кэВ)

1.14. Майдони электрӣ дар атрофи силиндри беохири радиусаш $r=1$ см, ки бо зичии ҳатии $\lambda=10$ нКл/см заряднок мебошад, ба вучуд оварда шудааст. Фарқи потенциалҳо дар нуқтаҳои аз сатҳи цилиндр дар масофаҳои $r_1=2$ см ва $r_2=5$ см ҷойгирбудаи майдон ёфта шавад.

(25 кВ)

1.15. Дар майдони якчинсаи электростатикии шадидияташ $E_0=500$ кВ/м лавҳаи ҳамвори беохири параллелии мармарин ($\varepsilon=10$) амудан ба ҳаҷми шадидият ҷойгир карда шудааст: 1) шадидияти майдон андаруни лавҳа; 2) модули вектори поляризация; 3) зичии сатҳии зарядҳои алоқамандро муайян намоед.

(1) $E=50$ кВ/м; 2) $P=43,8$ мкКл/м²; 3) $\sigma'=43,8$ мкКл/м²)

1.16. Электрони сураъаташ $\mathcal{Q}_0=1,8 \cdot 10^6$ м/с ба майдони якчинсаи электрӣ ба самти вектори шадидият муқобилан зада мебарояд. Электрон чӣ қадар фарқи потенциалҳо U - ро гузашта, дорои энергияи $W_i=13,6$ эВ мегардад (оё электрон бо ин қадар энергия ҳангоми бархӯрд бо атоми гидроген онро ионизатсия карда метавонад)?

$$(U=3,87 \text{ В})$$

1.17. Кураи металли радиусаш $R=1 \text{ см}$ дорои заряди $q=10 \text{ нКл}$ мебошад. Потенсиали майдони электростатикӣ кура: 1) дар сатҳи кура; 2) дар масофаи $r=2 \text{ см}$ аз сатҳи кура муайян карда шавад.

$$(\varphi_1 = 9 \text{ кВ}; \varphi_2 = 3 \text{ кВ})$$

1.18. Фазон байни рӯяҳои конденсатори ҳамвор, ки то шиддати $U = 300 \text{ В}$ заряднок мебошад, бо каҳрабо ($\varepsilon = 3$) пур карда шудааст. Фосилаи байни рӯяҳо $d=1 \text{ см}$ мебошад. 1) Шадиияти майдон дар каҳрабо; 2) зичии сатҳин зарядҳо дар рӯяҳои конденсатор; 3) зичии зарядҳои алоқамандро дар каҳрабо ёбед.

$$(1) E=30 \text{ кВ/м}; 2) \sigma=0,8 \text{ мкКл/м}^2; 3) \sigma_{\text{пол}} \approx 0,5 \text{ мкКл/м}^2$$

1.19. Ду конденсатори ҳамвори ҳавоии ғунҷоишашон баробар, ки параллелан пайвастанд, то шиддати $U_1 = 350 \text{ В}$ зарядноку сипас фазон яке аз онхоро бо абрак ($\varepsilon = 6$) пур карданд. Шиддати ин система чӣ қадар шуд?

$$(U_2=100 \text{ В})$$

1.20. Конденсатори ҳамвори масоҳати ҳар як рӯяаш $S = 100 \text{ см}^2$ то шиддати $U=150 \text{ В}$ заряднок карда шудааст. Агар фосилаи байни рӯяҳо $d=12 \text{ мм}$ бо абрак ($\varepsilon = 6$) пур бошад, миқдори заряди дар ин конденсатор ғуншуда чӣ қадар аст?

$$(6,64 \text{ нКл})$$

1.21. Аз конденсаторҳои ғунҷоишашон $C_1 = 3 \text{ мкФ}$; $C_2 = 6 \text{ мкФ}$ ва $C_3 = 9 \text{ мкФ}$ чӣ қадар ғунҷоишҳо ҳосил кардан мумкин мебошад?

$$(15 \text{ мкФ}; 12 \text{ мкФ}; 11 \text{ мкФ}; 8,25 \text{ мкФ}; 4,5 \text{ мкФ}; 2,5 \text{ мкФ}; 1,6 \text{ мкФ})$$

1.22. Агар конденсаторҳои ғунҷоишашон $C_1 = 3 \text{ мкФ}$; ва $C_2 = 6 \text{ мкФ}$, ки параллелан пайвасту то шиддати $U=100 \text{ В}$ заряднокро пай дар пай васл созем, шиддаташон ва миқдорҳои зарядашон чӣ қадар мешаванд?

$$(U_1=300 \text{ В}; U_2=150 \text{ В}; q_1=q_2=900 \text{ мкКл})$$

1.23. Кураи радиусаш $R_1=2 \text{ см}$ -и заряднокро ба кураи безаряди радиусаш $R_2=3 \text{ см}$ расонда сипас ҷудо карданд. Энергияи кураи дуҷум $W_2=0,4 \text{ Ҷ}$ буданаш маълум гардид. Кураи якум то расиш чӣ қадар заряд доштааст?

$$(2,7 \text{ мкКл})$$

1.24. Конденсатори ҳамвори масоҳати ҳар як рӯяаш $S=100 \text{ см}^2$, фосилаи байни рӯяҳояш $d=5 \text{ мм}$ -ро заряднок карда, сипас безаряд гардонданд. Дар ин маврид миқдори гармии $q=4,19 \text{ Ҷ}$ хориҷ шуд. Конденсатор то кадом шиддат заряднок будааст?

$$(21,7 \text{ кВ})$$

1.25. Зарядҳои баробари $q=10 \text{ нКл}$ дар куллаҳои квадрати тарафҳояш $a=10 \text{ см}$ ҷойгиранд. Энергияи потенсиалии ҳамтаъсириоти ҳар як заряд дар майдони се зарядҳои дигар чӣ қадар мебошад?

$$(24,4 \text{ мкҶ})$$

ҚОНУНҲОИ ЧАРАЁНИ ДОИМИЙ

§2.1. Чараёни электрӣ. Қувваи чараён. Зичии чараён

Соли 1800 ҳодисаи беназири дорои аҳамияти калони амалӣ ба вуқӯъ омад. Олими итолиёвӣ А. Волта (1745-1827) батареяи аввалини электриро ихтироъ ва бо ёрии он маротиби нахуст сели устувори зарраҳои заряднок, яъне чараёни доимии электриро ҳосил намуд. Ин боиси дар техника бунёд ёфтани соҳаи нав-электротехника гардид, ки тамаддуни моро ба кулӣ тағйир дода, ба марҳилаи нави инкишофи инсоният оғоз бахшид. Ҳоло ҳаёти моро бе чараёни электрӣ тасаввур кардан ғайриимкон аст.

Чараёни электрӣ гуфта ҳаракати ботартибона (нигаронида)-и зарраҳои заряднокро мефаҳманд. Ин зарядҳо барандагон (ҳомилон)-и чараён доништа мешаванд. Истилоҳи «чараёни электрӣ»-ро олими фаронсавӣ А.М. Ампер (1775-1836) с.1820 ворид намуд. Маҳз бо пешниҳоди Ампер самти ҳаракати зарраҳои мусбат заряднок ба сифати самти чараён қабул карда шуд.

Барои сурат гирифтани чараён мавҷудияти зарраҳои зарядноки ҳаракатманд (озод), майдони электрие, ки бо таъсири он ин зарраҳо ба ҳаракат мебароянд, заруранд.

Моддаҳое, ки дорои ҳомилони сершумори чараёнанд ва дар онҳо ҳаракати бемайлони зарраҳо имконпазир аст, *ноқилҳо* ном гирифтаанд. Симҳои металлӣ, маҳлули намак, ишқор (асос), туршӣ (кислота), инчунин ғудохтаи намакҳо, ки *электролитҳо* (аз юнонии *lytos*-қобили таъзия) номида мешаванд, ноқилҳои хубанд. Симҳои металиро ба ноқилҳои ҷинси якӯму электролитҳоро ба ноқилҳои ҷинси дуҷум мансуб медонанд. Ин фарқият дар он асос аст, ки бо баланд шудани температура дар ноқилҳои ҷинси якӯм ба чараён мамонияти зиёдтар ба вуҷуд меояд, чӣ тавре ки мегӯянд, муқовимати ин навъ ноқилҳо меафзояд. Вале муқовимати ноқилҳои ҷинси дуҷум, дар ин ҳол, баръакс, кам мешавад.

Тавассути таҷрибаҳо муқаррар шудааст, ки дар симҳои металий, инчунин нимноқилҳо (ниг. §2.10) ҳомилони чараён зарраҳои манфӣ зарядноки таркибии атомҳо-электронҳо ва дар ноқилҳои ҷинси дуҷум ионҳои мусбату манфӣ (ниг. §2.8) мебошанд.

Моддаҳое ҳастанд, ки чараёни электриро амалан намегузаронанд ва онҳо *диэлектрикҳо* (англ. *dielektrik*, аз юнонии *dia*-тавассути, андаруни... ва *elektrik*-электрӣ) ё худ *изоляцияҳо* (аз фаронсавии *isoler*-чудо) ном гирифтаанд. Резина, чинӣ (фарфор), шиша, шохӣ, қаҳрабо, аксари пластмассаҳо, ҷӯби хушк, оби тоза (дистиллятсия ё тақтиршуда), газҳо, аз ҷумла ҳавои хушк ва ғайра диэлектрикҳои хубанд. Бояд таъкид кард, ки дар байни ноқилҳою диэлектрикҳо ҳудуди катъӣ ғузоштан шартист.

Чараёни электриро микдоран бо бузургии скалярӣ тавсиф медиҳанд, ки *қувваи чараён* ном гирифтааст. Қувваи чараён бо микдори электр ё заряде муайян карда мешавад, ки дар тӯли 1 с аз бурришгоҳи ноқил мегузарад. Агар дар муддати кӯтоҳи вақти dt аз

бурришгоҳи арзии нокил заряди dq гузарад, қувваи ҷараёно, ки одатан бо ҳарфи I ишорат намудан маъмул гаштааст, бо формулаи:

$$I = \frac{dq}{dt}, \quad (2.1)$$

яъне чун ҳосилаи якӯми бузургии заряд нисбат ба вақт муайян мекунанд. Воҳиди қувваи ҷараён дар СИ яке аз ҳафт воҳиди асосӣ-1 *ампер* (мухтасар 1 А) мебошад. Он тавассути қувваи ҳамтаъсиrotи магнитии ду нокили ҷараёндори рости параллелӣ муқаррар карда мешавад (ниг §3.5).

Таксимоти қувваи ҷараён дар бурришгоҳи нокилро бо бузургии вектории ба истилоҳ *зичии ҷараён* тавсиф медиҳанд. Вектори зичии ҷараён (онро бо ҳарфи $\vec{j}$ ишорат мекунанд) ба самти суръати ҳаракати ботартибонаи зарраҳои мусбат заряднок равона мебошад. Модули вектори зичии ҷараёнро бо формулаи:

$$j = \frac{dI}{dS_{\perp}} \quad (2.2)$$

муайян менамоянд. Воҳиди зичии ҷараён дар СИ мувофиқи (2.2) 1 А/м^2 буданаш маълум аст. Баъзан воҳиди *гайрисистемавии зичии ҷараён* $1 \text{ А/мм}^2 = 10^6 \text{ А/м}^2$ мавриди истифода қарор меёбад. Чунончӣ, меъёри зичии ҷараён дар симҳои мисин анқариб 8 А/мм^2 , дар симҳои алюминӣ $3,5-5 \text{ А/мм}^2$, умуман зичии зиёдтарини аз ҷиҳати техникӣ имконпазир:

$$j_{\max} = 10 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2} = 10^7 \frac{\text{А}}{\text{м}^2}.$$

буданаш тавассути таҷрибаҳо муқаррар шудааст.

Агар самт ва қувваи ҷараён бо мурури замон дигар нашлаванд, онро *ҷараёни дойимӣ* медонанд, вагарна оид ба ҷараёни тағйирёбанда сухан меронанд. Дар ҳоли ду ҷисми потенциалҳояшон гуногун заряднокро бо нокиле васл намудан аз як нокил ба дигараш то баробар шудани потенциалҳояшон ҷараёни кӯтоҳмуддати тағйирёбанда мегузарад. Ҳамин аст, ки барои дар муддати тӯлонӣ аз нокил катъ наёфтани ҷараён дойимӣ мондани фарқи потенциалҳои нӯғҳои нокилро таъмин бояд кард.

Қувваи ҷараёни дойимиро бо формулаи:

$$I = \frac{q}{t} \quad (2.3)$$

муайян кардан мумкин аст, зеро ҳангоми $I = \text{const}$

$$q = \int_0^t I dt = It \quad (2.4)$$

буданаш маълум мегардад.

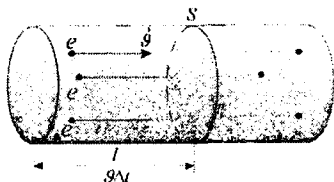
Мувофиқи тасаввуроти он, ки дар симҳои металлӣ ҷараёно ҳаракати электронҳои озод ташкил менамояд, қувва ва зичии ҷараёно чунин муайян кардан мумкин аст.

Бо таъсиrotи майдони электрӣ дар нокили металлӣ электронҳо ба самти муқобили шадидияти майдон бо суръати миёнае ҳаракат мекунанд, ки ба шадидияти майдон мутаносиб аст:

$$\langle v \rangle = bE. \quad (2.5)$$

Дар ин ҷо b -коэффитсиенти мутаносибӣ буда, *ҳаракатмандии зарраи заряднок* ном дорад ва бо суръате муайян карда мешавад, ки зарра ба

он дар майдони шадидияташ воҳидӣ (1 В/м) соҳиб мегардад. Аз ин рӯ воҳиди ҳаракатмандӣ дар СИ $1 \frac{\text{м}^2}{\text{В} \cdot \text{с}}$ мебошад. Аз бурришгоҳи арзини S -и нокил (дар расми 2.1 ин бурришгоҳ штрихонида шудааст) дар тӯли вақти Δt кулли электронҳои дар ҳаҷми китъаи дарозинаш $\Delta l = g\Delta t$ -и нокил воқеъгардида мегузаранду бас.



Расми 2.1

Аз ин рӯ қувваи ҷараён:

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{Ne}{\Delta t} = \frac{neS\Delta l}{\Delta t} = ne g S \quad (2.6)$$

ва зичии он:

$$j = n\vec{u}g \quad (2.7)$$

буданаш маълум мегардад, ки дар ин формулаҳо $n = \frac{N}{\Delta V} = \frac{N}{S\Delta l}$ — *концентрацияи зарядҳои озод* (дар симҳои металлӣ ин зарраҳои электронҳои озоди зарядашон $q = |e| = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ мебошанд). Формулаи (2.7) - ро дар мавриди умумӣ барои зарраҳои зарядноки микдори электрарон q ва суръати ҳаракати ботартибонаи онҳо $\vec{g}$ дар шакли векторӣ чунин пешниҳод кардан мумкин аст:

$$\vec{j} = nq\vec{g} \quad (2.8)$$

Масъалаи 2.1. Меёри зичии ҷараён дар сими мисин $j = 8 \text{ А/мм}^2$ буданашро дониста, муайян намоед, ки дар тӯли 1 с аз бурришгоҳи $S = 1 \text{ мм}^2$ чандто электрон мегузарад ва суръати ҳаракати ботартибонаи электронҳо дар ин маврид чӣ қадар мебошад.

Маълумот:

$j = 8 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2} = 8 \cdot 10^6 \frac{\text{А}}{\text{м}^2}$ $S = 1 \text{ мм}^2 = 10^{-6} \text{ м}^2$ $\Delta t = 1 \text{ с}$ $N = ? \quad g = ?$	Ҳал Мувофиқи таърифи қувваи ҷараён: $I = \frac{N e }{\Delta t}, \text{ аз ин ҷо:}$ $N = \frac{I\Delta t}{ e } = \frac{jS\Delta t}{ e } = \frac{8 \cdot 10^6 \text{ А/м}^2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 \cdot 1 \text{ с}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}} =$ $= 5 \cdot 10^{13} \text{ электрон.}$
--	---

Ҷавоб: $N = 5 \cdot 10^{13}$ электрон

Формулаи зичии ҷараён имкон медиҳад, ки суръати ҳаракати ботартибонаи электронҳо дар сими мисин муайян карда шавад. Барои

ин бояд ба эътибор гирифт, ки дар ҳоли аз ҳар атом якто электрони озод ташкил ёфта наш консентратсияи электронҳои озод:

$$n = \frac{N}{V} = \frac{\nu N_A}{V} = \frac{m N_A}{V M} = \frac{DN_A}{M}, \quad (2.9)$$

ки барои сими мисин $D = 8,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ - зичии сими мисин,

$M = 63,54 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{мол}}$ - массаи моли мис, $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ мол}^{-1}$ - адади

Авогадро:

$$n = \frac{8,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ мол}^{-1}}{63,54 \cdot 10^{-3} \text{ кг/мол}} = 8,4 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$$

ва аз ин рӯ:

$$\mathcal{G} = \frac{j}{n|e|} = \frac{8 \cdot 10^6 \text{ А/м}^2}{8,4 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}} = 6 \cdot 10^{-3} \frac{\text{М}}{\text{с}} = 6 \frac{\text{мм}}{\text{с}}$$

мебошад.

Бояд қайд кард, ки ин кимати суръати ҳаракати ботартибонаи электронҳо назар ба суръати ҳаракати ҳароратии онҳо $\left(\mathcal{G}_T = \sqrt{\frac{3kT}{m}} \right)$:

$T = 300 \text{ К}$ -температураи ҳона, $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$ -массаи электрон, $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Ҷ/К}$ -дойимии Болсман) $\mathcal{G}_T = 10^5 \text{ м/с}$) хеле кам аст. Вале баробари васл кардани калидҳои занҷир фаврӣ ба қор даромадани дастгоҳҳои электрӣ, аз ҷумла фурузон гаштани ҷароғҳои электрӣ бо он шарҳ дода мешавад, ки ҳамтаъсири майдони электрию зарраҳои заряднок бо суръати ба суръати рӯшноӣ дар вакуум ($c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$) баробар интиқол меёбад.

Масъалаи 2.2. Қувваи ҷараён дар ноқил аз $I_0 = 0,5 \text{ А}$ дар тӯли $\tau = 10 \text{ с}$ то $I = 2 \text{ А}$ мунтазам меафзояд. Микдори электрӣ аз буришигоҳи ноқил дар ин муддат интиқолёфтаро муайян намоед.

Маълумот:

$$\left. \begin{array}{l} I_0 = 0,5 \text{ А} \\ \tau = 10 \text{ с} \\ I = 2 \text{ А} \\ q = ? \end{array} \right|$$

$$\begin{array}{ll} \text{Ҳал} & \\ \text{Мувофиқи} & \text{таърифи} \\ \text{қувваи ҷараён:} & \\ I = \frac{dq}{dt}, & \\ \text{аз ин ҷо:} & \\ q = \int I dt. & \end{array}$$

Тағйироти мунтазами қувваи ҷараён далели он аст, $I = I_0 + kt$ (дар ин ҷо $k = \frac{I - I_0}{t}$ -суръати тағйироти ҷараён) ва он дар ин маврид:

$$k = \frac{2 - 0,5}{10} = 0,15 \frac{\text{А}}{\text{с}}$$

буданаш маълум мегардад.

Пас,

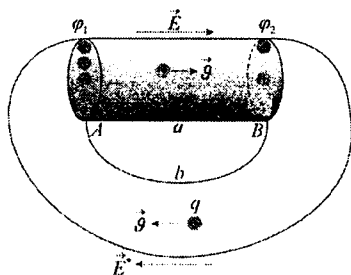
$$q = \int_0^{\tau} (I_0 + kt) dt = I_0 \tau + \frac{k \tau^2}{2} = 0,5 \cdot 10 + \frac{0,15 \cdot 100}{2} = 5 + 7,5 = 12,5 \text{ Кл.}$$

мебошад.

Ҷавоб: $q=12,5 \text{ Кл.}$

§2.2. Манбаъҳои ҷараён. Қувваи электроҳаракатдиҳандаи манбаъҳои ҷараён. Шиддат

Фарз мекунем, ки дар нӯғҳои нокили AB (расми 2.2) потенциалҳои гуногун, масалан $\varphi_1 > \varphi_2$ ба вуҷуд оварда шудаанд. Онҳо шадидияти майдони электрӣ сӯйи камшавии потенциал, яъне аз нӯғи A ба B самт мегирад. Агар шартан қабул намоем, ки ҷараёнро дар ин нокил ҳаракати зарраҳои мусбат заряднок ташкил медиҳанд, бо таъсири майдон зарраҳо аз нӯғи A ба B бо роҳи AaB мекӯчанд. Дар натиҷа фарқи потенциалҳо кам шудан мегирад. Ҳамин, ки ин фарқ баробари сифр мегардад, ҷараён қатъ меёбад. Аз ин рӯ барои тӯлонӣ гузаштани ҷараён, тавре ки қайд карда будем, фарқи потенциалҳо бетағйир нигоҳ доштан лозим меояд. Барои ин ҳар микдори заряд, ки аз нӯғи A ба B кӯчонда мешавад, аз нав ба нӯғи A бо роҳи BbA баргардондан зарур аст.



Расми 2.2

Агар ба эътибор гирем, ки қори қувваҳои электростатикӣ ба рафти ҳар гуна ҳати сарбаст баробари сифр мебошад (ниг. §1.7) барои дар нӯғҳои нокил нигоҳ доштани фарқи потенциалҳо қувваҳои табиаташон ғайриэлектрӣ (онҳоро мухтасар *қувваҳои ғайр* меноманд) бояд амал намоянд. Қувваҳои ғайр дар дастгоҳҳои ба вуҷуд оварда мешаванд, ки *манбаъҳои ҷараён* ном гирифтаанд. Ин гуна қувваҳо аз ҳисоби навьҳои ғайриэлектрии энергия дар клемма (гир)-ҳои манбаъ қори ба вуҷуд овардану нигоҳ доштани фарқи потенциалҳо иҷро мекунанд. Чунончӣ, дар элементҳои гальванӣ*, аккумуляторҳо фарқи потенциалҳо аз ҳисоби энергияи реаксияҳои оксиду барқарор-

*) Аз номи Л. Гальвани (1737-1798)-олим духтури итолиёӣ, ки аввалин шуда ҷунбиши беихтиёри мушакҳои қурбоқаро ҳангоми ба металлҳои гуногунҷинса - мису оҳан расонданишонро ошкор сохтааст ва ин ҳодиса минбаъд боиси сохта шудани батареяи электрӣ гардида буд, ҳарчанд моҳияти ҳодисаи мазкурро маънидод карда натавонист: маҳз А. Волта ба ин моҳият сарфаҳм рафт.

шавии байни лавҳаҳои металлӣ (электродҳо) ва электролитҳо ҳосил мегарданд (дар батареяи аввалинаш А. Волта дар байни диск-курсҳои болои ҳам сугунворчидаи металли гуногунҷинса-нукрагину руҳӣ коғаз ё матойи ба маҳлули намак ё туршӣ тар гузоштаву аз курсҳои канорӣ ду сим бароварда буд, ки дар нӯҳояшон фарқи потенциалҳои ба қадри кофӣ ошкоршаванда вучуд дошт).

Сабабгори ба вучуд омадани фарқи потенциалҳо дар генераторҳои нерӯгоҳҳои электрии обӣ (НБО)-ҳо истифодаи энергияи механикии оби дар обанборҳо ҷамъшуда, дар электростансияҳои ҳароратӣ-энергияи дохилии сӯзишвории гуногун (гази табиӣ, ангишт ва ғайра), дар нерӯгоҳҳои атомӣ-реаксияҳои ядрои, дар батареяҳои офтобӣ энергияи рӯшноӣ мебошанд.

Барои тавсифи энергетикӣ манбаъҳои ҷараён бузургии ба ном *қувваи электроҳаракатдиҳанда* (мухтасар ҚЭХ ҳарчанд мувофиқ нест, вале таърихан ҳамин ном ворид шуда монд) мавриди истифода қарор меёбад ва онро бо ҳарфи $\mathcal{E}$ (эпсилон) ишорат кардан маъмул гаштааст.

Қувваи электроҳаракатдиҳанда бо қори қувваҳои ғайр ($A_{\text{г}}$), ки барои қўчондани заряди мусбати воҳидӣ (+1 Кл) дар занҷирҳои электрӣ иҷро мегардад, муайян карда мешавад:

$$\mathcal{E} = \frac{A_{\text{г}}}{q} \quad (2.10)$$

ҚЭХ-ро мисли фарқи потенциалҳо:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{\text{г}}}{q} \quad (2.11)$$

дар СИ бо вольтҳо ифода мекунанд.

Одатан шадидияти майдони қувваҳои ғайрро бо ҳарфи $\vec{E}^*$ ишорат мекунанд. Дар ин ҳол ҚЭХ-ро чун сиркулятсияи вектори $\vec{E}^*$ ба рафти хати сарбаст (занҷири электрӣ) пешниҳод кардан мумкин аст:

$$\mathcal{E} = \oint_L \vec{E}_l^* dl = \oint_L \vec{E}^* dl \cos \alpha, \quad (2.12)$$

ки дар ин ҷо α - кунҷи байни векторҳои $\vec{E}^*$ ва қўчиш $d\vec{l}$ мебошад.

Дар китъаҳои занҷирҳои электрӣ дар як вақт ҳам қувваҳои электростатикӣ ва ҳам қувваҳои ғайр амал карда метавонанд. Ба ин муносибат барои тавсифи қори муштаракӣ ин қувваҳо бузургии ба ном *шиддат* (U) мавриди истифода қарор меёбад:

$$U = \frac{A_{\text{ст}}}{q} + \frac{A_{\text{г.ғайр}}}{q} = \varphi_1 - \varphi_2 + \mathcal{E}_{12}. \quad (2.13)$$

Пас, мафҳуми шиддат назар ба фарқи потенциалҳо умумитар буда, ҳангоми дар китъаи занҷир амал накардани қувваҳои ғайр (манбаъҳои ҷараён) шиддат ба фарқи потенциалҳо баробар аст.

§2.3. Қонунҳои Ом

Олими олмонӣ Г.С. Ом (1787-1854) солҳои 1826-1827 қонунҳои ҷараёни дойимиро аввало таҷрибавӣ, сипас назариявӣ муқаррар кард.

ки онҳо холо номи ўро гирифтаанд. Хотиррасон намудан чоиз аст, ки маҳз Г.С. Ом мафҳуми қувваи электроҳаракатдихандаро ба илм ворид намуд.

1. Қонуни Ом барои қитъаи якҷинсаи занҷир. Дар қитъаи занҷир, ки манбаъҳои ҷараён амал намеkunанд (ин гуна қитъаро якҷинса меноманд), қувваи ҷараён ба шиддати қитъа мутаносибӣ рошта мебошад:

$$I = kU, \quad (2.14)$$

дар ин ҷо k -коэффитсиенти мутаносибӣ буда, *ноқилият* ном гирифтааст. Воҳиди ноқилият дар СИ *1-сименс* ном дорад (муҳтасар $1\text{-}См$), ба шарафи электротехники олмонӣ, ки бо ҳамроҳии И. Голске телеграфи электрӣ ихтироъ кардааст:

$$1\text{ }См = 1\text{ }А/В.$$

Бузургии баръакси ноқилият *муқовимати электрӣ* номида мешавад ва онро бо ҳарфи R (инчунин r) ишорат меkunанд:

$$R = 1/k. \quad (2.15)$$

Ҳамин аст, ки қонуни Ом барои қитъаи занҷир ҷун:

$$I = \frac{U}{R} \quad (2.16)$$

пешниҳод мешавад.

Воҳиди муқовиматро дар СИ мувофиқи (2.16) муқаррар меkunанд ва он *1 Ом* ном гирифтааст:

$$1\text{ }Ом = 1\text{ }В/1\text{ }А,$$

яъне $1\text{ }Ом$ муқовимати ноқилест, ки ҳангоми шиддат дар нӯғҳои он $1\text{ }В$ будан аз ин ноқил ҷараёни қуввааш $1\text{ }А$ мегузарад. Дар амалия воҳидҳои қаратии $Ом$ низ истифода мешаванд ($1\text{ }кОм = 10^3\text{ }Ом$, $1\text{ }МОм = 10^6\text{ }Ом$). Ҳарчанд муқовиматро мувофиқи (2.16) бо формулаи:

$$R = \frac{U}{I} \quad (2.17)$$

муайян кардан мумкин аст, муқовимати ноқил ба шиддат ва қувваи ҷараён вобаста нест. Тавре ки таҷрибаҳо нишон медиҳанд, муқовимати ноқилҳо ба моддае, ки аз он ноқил тайёр карда мешавад, андозаҳои геометрӣ ва ҳолати ин ноқил (асосан температура он) вобастагӣ зоҳир менамояд. Ҷунонҷӣ, барои ноқилҳои цилиндршакли дарозиашон l масоҳати бурришгоҳи арзиашон S ин вобастагӣ ҷунин пешниҳод мешавад:

$$R = \rho \frac{l}{S}. \quad (2.18)$$

Дар ин ҷо ρ -*муқовимати ҳос* ном дорад ва он муқовимати ноқили дарозиаш $l=1\text{ }м$, масоҳати бурришгоҳи арзиаш $S=1\text{ }м^2$ аст (он одатан бо $мм^2$ ифода меёбад). Аз ин рӯ воҳиди *муқовимати ҳос* дар СИ $1\text{ }Ом\cdot м$, дар амалия инчунин воҳиди ғайрисистемавӣ: $1\text{ }Ом\cdot мм^2/м = 10^{-6}\text{ }Ом\cdot м$ истифода мешавад.

Тавре ки таҷрибаҳо нишон медиҳанд, муқовимати ҳос барои ҳар як модда қимати муайян дораду дар аксар маврид ба температураи ноқилҳои металлӣ вобастагии ҳатти зоҳир менамояд:

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha t), \quad (2.19)$$

ки дар ин ҷо ρ_0 - муковимати хос дар 0°C ($273,15\text{ K}$), α - коэффициенти температуравии муковимат, t -температураи ноқил дар шкалаи амалии Байналмилалӣ буда, бо $^\circ\text{C}$ ифода меёбад.

Дар ҷадвали зерин барои мукоиса қиматҳои муковимати хос ва коэффициентҳои α - и баъзе моддаҳо (дар 20°C) оварда шудаанд.

Бо назардошти (2.19) муковимати аксар ноқилҳои металлӣ низ ба температура хаттӣ вобаста аст:

$$R = R_0(1 + \alpha t). \quad (2.20)$$

Ба ин вобастагӣ асос карда *термометрҳои муковиматӣ* сохта мешаванд.

Ҷадвали 3. Муковимати хос ва коэффициенти температуравии баъзе моддаҳо

Модда	$\rho \cdot 10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{м}$	$\alpha \cdot 10^{-4} ^\circ\text{C}$	Модда	$\rho \cdot \text{Ом}\cdot\text{м}$	$\alpha \cdot 10^{-4} ^\circ\text{C}$
а) Ноқилҳо			б) Нимноқилҳо		
Нукра	1,6	36	Германий (27°C)	0,43	
Мис	1,7	39	Силитсий (27°C)	$2,3 \cdot 10^3$	
Алюминий	2,8	49	в) диэлектрикҳо		
Волфрам	5,5	45	Чуби хушк	$10^9 \div 10^{10}$	
Охан	9,7	60	Шинша	$10^9 \div 10^{12}$	
Платина	10,8	39	Резина	$10^{13} \div 10^{15}$	
Симоб	98	90	Хаво (0°C)	$10^{15} \div 10^{18}$	
Нихром (67,5% Ni, 1,5% Mn, 16% Fe, 15% Cu)	110	40	Кахрабо	$10^{15} \div 10^{18}$	✓

Олими голландӣ Г. Камерлинг-Оннес (1853-1926) хангоми сард гардонидани симоб то температурҳои пасттар аз 4 K (-269°C) маротибаи нахуст ошкор сохт, ки муковимати симоб якбора то сифр кам мешавад. Ин ҳодиса *фавқуннокилият* ном гирифтааст. Сонитар маълум гардид, ки чанде аз металлҳои дигар низ дар температураҳои ниҳоят паст (тампатураи гелийи моеъ), ки *температураи гузариши* (T_c) ном дарад, ба ҳолати фавқуннокилият меоянд. Дар ҷадвал температураи гузариши баъзе металлҳо оварда шудааст.

Ҷадвали 4. Температураи гузариши баъзе моддаҳо ба ҳолати фавқуннокилият

Модда	$T_c, \text{ K}$	Модда	$T_c, \text{ K}$
Сурб	7,2	Алюминий	1,2
Тантал	4,4	Рух	0,9
Симоб	4,2	Молибден	0,9
Қалъайй	3,7	Магний	0,7

Ҳодисаи фавқуннокилиятро назарияи муосир-механикаи квантӣ шарҳ дода тавонист. Дар ин ҷода саҳми олимони амрикоӣ Ч. Бардин (с.т. 1908), Л. Купер (с.т. 1930), Ч.Р. Шриффер (с.т. 1931), ки соли 1957 назарияи микроскопии фавқуннокилиятро барпо намуданд, хеле калон аст (Ҷоизаи Нобел с. 1972).

Соли 1966 муқаррар карда шуд, ки баъзе маснуоти сафолӣ дар температураҳои баландтар аз 100 K (то 200 K) ба ҳолати

фавкуннокилият мегузаранд, харчанд ин ходиса шарҳи худро наёфтааст. Ҳамин буд, ки дар солҳои охир фавкуннокилияти баландҳароратӣ бошиддат омӯхта мешавад ва дар температураи хонагӣ дастрас гардидани фавкуннокилият дар электротехника ва энергетика боиси як табaddулотии ҷиддие шуда метавонад.

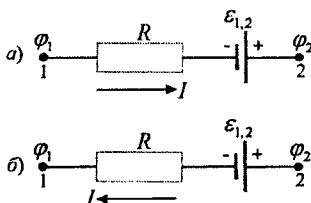
2. Қонуни Ом барои китъаи ғайриякҷинсаи занҷир. Агар дар китъаи 1 – 2-и занҷир (расми 2.3) манбаъҳои ҷараён амал намојанд, он ғайриякҷинса доништа мешавад. Дар ҳоли муқовимати истеъмолагарони энергия дар китъа, яъне муқовимати *борбастро* бо $R_{1,2}$ (он муқовимати худӣ манбаъ r -ро низ дар бар мегирад) ифода намудан, мувофиқи таърифи шиддат:

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 \pm \mathcal{E}_{1,2}$$

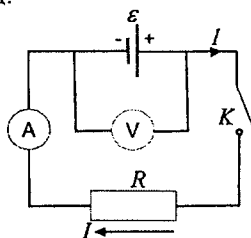
буданаширо ба эътибор гирифта, бо дар назардошти (2.16) баробарии зеринро сабт карда метавонем:

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 \pm \mathcal{E}_{1,2}}{R_{1,2}}, \quad (2.21)$$

ки он ифодаи *қонуни Ом барои китъаи ғайриякҷинса* мебошад. Дар ин формула хангоми ба рафти ҷараёни китъа амал кардан манбаъ (ҷараёни манбаъ вусъатдиҳанда аз қутби мусбатӣ он самт мегирад) ҚЭХ $\mathcal{E}_{1,2}$ бо аломати «+» (расми 2.3, а) ва дар акси ҳол (расми 2.3, б) ҚЭХ-ро бо аломати «-» гирифтани мебояд.



Расми 2.3



Расми 2.4

3. Қонуни Ом барои занҷири пурра (сарбастр). Агар нуқтаҳои 1-2-и китъаро бо нокил васл созем (одатан муқовимати нокилҳои васлсозӣ ба эътибор гирифта намешавад), $\varphi_1 = \varphi_2$ буданаширо ба назар мегирем, он гоҳ баробарии (2.21)-ро чун:

$$I' = \frac{\mathcal{E}}{R + r}. \quad (2.22)$$

пешниҳод карда метавонем, ки он ифодаи математикии *қонуни Ом барои занҷири пурра* (ё сарбастр) мебошад. Дар расми 2.4 занҷири соддатарини пурра тасвир ёфтааст, ки дар он амперметри A қувваи ҷараёни занҷир, вольтметри V шиддатро дар китъаи берунаи занҷир (*борбасти* R) чен мекунад ва K -калиди банду возгардонии занҷир аст. Дар ифодаи (2.22) r - муқовимати дохилии манбаи ҷараён мебошад. Бояд таъкид кард, ки бузургҳои $\mathcal{E}$ ва r барои ҳар як манбаъ кимати муайян доранд.

Дар мавриди афзудани R шиддати он:

$$U = \mathcal{E} - Ir \quad (2.23)$$

паст мефурояд, зеро кувваи чараён дар занчир мувофики (2.22) кам мешавад. Ҳангоми $R \rightarrow \infty$ (дар ниҳоят калиди K воз будан) кувваи чараёни занчир $I \rightarrow 0$ ва $U \approx \mathcal{E}$ қабул кардан равоаст. Яъне, дар мавриди сарбаст набудани занчир вольтметри бевосита ба клеммаҳои манбаъ васлбуда ҚЭХ-и манбаъро нишон медиҳад. Ҳар қадар муковимати дохилии ин вольтметр зиёд бошад, нишондоди он ба ҚЭХ-и манбаъ наздиктар мешавад.

Дар ҳоли кам шудани R кувваи чараён меафзояд, дар натиҷа U паст фурумадан мегирад ва дар мавриди $R \rightarrow 0$ (ин маврид *расиши кӯтоҳ* ном гирифтааст), аз занчир кувваи чараёни зиёдтарин:

$$I_{\max} = \frac{\mathcal{E}}{r} \quad (2.24)$$

гузашта, то ба гудозиши симҳои васлсозӣ оварда мерасонад (эҳтиёт бояд шуд, зеро кутбҳои шабакаи шахрӣ $U=220$ В-ро бо симҳои муковиматашон ночиз-симҳои ғафс васл кардан хатарнок аст!). Ба ҳодисаи расиши кӯтоҳ асос намуда, *муҳофизакҳо* (ибора аз металлҳои зудгудоз) сохта шудаанд.

Масъалаи 2.3. Ҳангоми ба аккумулятор бевосита васл кардани муковимати $R_1=16$ Ом кувваи чараёни занчир $I_1=1$ А ва дар мавриди ба он пайвастании муковимати $R_2=8$ Ом кувваи чараёни занчир $I_2=1,8$ А шуд. ҚЭХ-и манбаъ ва муковимати дохилии он муайян карда шавад.

Маълумот:

$$\left. \begin{array}{l} R_1 = 16 \text{ Ом} \\ I_1 = 1 \text{ А} \\ R_2 = 8 \text{ Ом} \\ I_2 = 1,8 \text{ А} \\ \hline \mathcal{E} = ? \quad r = ? \end{array} \right\}$$

Ҳал
Мувофики қонуни Ом барои занчири пурра:

$$I_1 = \frac{\mathcal{E}}{R_1 + r}; \quad I_2 = \frac{\mathcal{E}}{R_2 + r}$$

мебошанд, пас:

$$I_1(R_1 + r) = I_2(R_2 + r)$$

ё

$$1 \text{ А} \cdot (16 \text{ Ом} + r) = 1,8 \text{ А} \cdot (8 \text{ Ом} + r)$$

Аз ин ҷо:

$$r = \frac{16 \text{ В} - 14,4 \text{ В}}{0,8 \text{ А}} = \frac{1,6}{0,8} \text{ Ом} = 2 \text{ Ом}$$

ва

$$\mathcal{E} = I_1(R_1 + r) = 1 \text{ А} (16 \text{ Ом} + 2 \text{ Ом}) = 18 \text{ В}.$$

Ҷавоб: $r = 2 \text{ Ом}$; $\mathcal{E} = 18 \text{ В}$.

Масъалаи 2.4. Муковимати дохилии манбаи чараён дорои бо муковиматҳои ду вольтметр ҳамкиёс мебошад. Яке аз вольтметрҳои ба клемма (сикконак)-ҳои манбаъ бевосита васлбуда шиддати $U_1=10$ В ва дар мавриди вольтметри дигарро ба ҳамин манбаъ пайваст кардан он

шиддати $U_2=15$ В-ро, дар холи ҳар ду вольтметрро пай дар пай васлу ба ҳамон манбаъ чун пештара пайвастан вольтметри якум шиддати $U_3=4$ В ва вольтметри дуум $U_4=12$ В-ро нишон медиҳанд. Аз ин маълумот ҚЭХ-и манбаъро муайян намоед.

Маълумот:

$$\left. \begin{array}{l} U_1 = 10 \text{ В} \\ U_2 = 15 \text{ В} \\ U_3 = 4 \text{ В} \\ U_4 = 12 \text{ В} \\ \hline \mathcal{E} = ? \end{array} \right|$$

Ҳал

Дар мавриди аввал конуни Ом барои занҷири сарбаст чунин сабт карда мешавад:

$$\mathcal{E} = I_1(R_{r1} + r). \quad (1)$$

ки дар ин ҷо I_1 -қувваи ҷараёни занҷир, R_{r1} -муқовимати дохилии вольтметри якум, r -муқовимати дохилии манбаъ мебошанд.

Мувофиқи нишондоди ин вольтметр:

$$I_1 R_{r1} = 10 \text{ В}; \quad (2)$$

айнан ҳангоми ба манбаъ васл кардани вольтметри дуум:

$$\mathcal{E} = I_2(R_{r2} + r); \quad (3)$$

$$I_2 R_{r2} = 15 \text{ В}; \quad (4)$$

дар холи ҳарду вольтметрро пай дар паю синас ба сикконакҳои манбаъ васл сохтан:

$$\mathcal{E} = I_3(R_{r1} + R_{r2} + r); \quad (5)$$

$$I_3 R_{r1} = 4 \text{ В}; \quad I_3 R_{r2} = 12 \text{ В} \quad (6)$$

сабт намудан равоست равост. Аз муқоисаи баробариҳои (1)-(6) бармеояд, ки:

$$R_{r2} = 3R_{r1} \quad (7)$$

мебошад. Пас, бо дарназардошти баробариҳои (2) ва (4):

$$\frac{I_1}{I_2} = 2 \quad (8)$$

буданаш маълум мегардад. Аз ин рӯ мувофиқи (1) ва (3):

$$\mathcal{E} = I_2 R_{r2} + I_2 r = 15 \text{ В} + I_2 r; \quad (9)$$

$$\mathcal{E} = I_1 R_{r1} + I_1 r = 10 \text{ В} + I_1 r \quad (10)$$

мебошанд, ки ҳалли муштараки онҳо бо дарназардошти (8), (9) ва (10):

$$\frac{\mathcal{E} - 10 \text{ В}}{\mathcal{E} - 15 \text{ В}} = 2, \text{ аз ин ҷо } \mathcal{E} = 20 \text{ В}$$

буданаш маълум мегардад.

Ҷавоб: $\mathcal{E} = 20 \text{ В}$.

§2.4. Кор ва иқтидори чараён. Қонуни Ҷоулу Ленс

Коре, ки манбаи чараён ба рафти занҷири сарбаст заряди dq -ро кӯчонда иҷро менамояд, мувофиқи таърифи ҚЭХ ва қувваи чараён:

$$dA = \mathcal{E} dq = \mathcal{E} Idt \quad (2.25)$$

мебошад. Ин корро ба вақти dt , ки дар тӯли он иҷро мешавад, тақсим карда, *иқтидор (тавоноӣ)*-и *пурраи* вусъат додан манбаъро дарёфта метавонем:

$$P_0 = \frac{dA}{dt} = \frac{dq}{dt} \mathcal{E} = I \mathcal{E}. \quad (2.26)$$

Бо дарназардошти (2.22) *иқтидори пурраро* ба намуди:

$$P_0 = \frac{\mathcal{E}^2}{R+r} \quad (2.27)$$

ишқиҳод қардан мумкин аст. Дар истеъмолгарони энергия (борбастҳо) танҳо ҳиссае аз ин иқтидор вусъат меёбад:

$$P = I^2 R = \frac{\mathcal{E}^2}{(R+r)^2} R, \quad (2.28)$$

ки *иқтидори фойданоқ* мебошад. Қисми дигараш асосан барои гарм қардани манбаъ, инчунин симҳои васлсозӣ сарф мегардад бефойида аст.

Нисбати иқтидори фойданоқ бар иқтидори пурра *коэффициенти қори фойданоқ* (КҚФ) мебошад:

$$\eta = \frac{P}{P_0} = \frac{U}{\mathcal{E}} = \frac{R}{R+r}. \quad (2.29)$$

Маҳз аз ҳисоби иқтидори фойданоқ ҳангоми аз нокили муқовиматаш R гузаштани чараёни қуввааш I ин нокил гарм мешавад ва микдори гармиеро, ки дар тӯли вақти гузаштани чараён (t) хориҷ мегардад, мувофиқи *қонуни Ҷоулу Ленс* муайян карда метавонем:

$$Q = I^2 R t = I U t = \frac{U^2}{R} t. \quad (2.30)$$

Иқтидори чараён:

$$P = \frac{Q}{t} = I^2 R = I U = \frac{U^2}{R} \quad (2.31)$$

мебошад. Тавассути ин формула қувваи чараён ва муқовимати чароғҳои электрӣро муайян қардан мумкин аст, ки дар онҳо ҳиссаи нопизи он (анқариб 5%) ба рӯшноӣ табдил меёбад.

Гарм шудани нокилҳо ҳангоми аз он гузаштани чараёно чунин шарҳ додан мумкин аст. Ҳамилони чараён бо таъсири майдони электрӣ дорои энергияи кинетикии зиёдтарин (илова бар энергияи кинетикии ҳаракати бетартибона ё ҳароратӣ) гардида, ҳангоми бархӯрдҳо бо ионҳои панҷараҳои кристаллӣ дар нокилҳои металлӣ, бо молекулаҳои нейтралӣ дар электролитҳо интиқол медиҳанд, ки боиси бо амплитудаҳои калон лапшиш хӯрдани ионҳо дар панҷара, бо суръатҳои зиёдтар ба ҳаракат даромадани молекулаҳои нейтралӣ мегардад, ки дар натиҷа гармӣ хориҷ мешавад. Дарвоқеъ, ҳамин бархӯрдҳо сабабгори муқовимати нокилҳо мебошад, зеро ҳар як

бархӯрд боиси дар айни замон дар бурришгоҳон арзани нокил кам шудани миқдори заряд, яъне кувваи чараён меғардад.

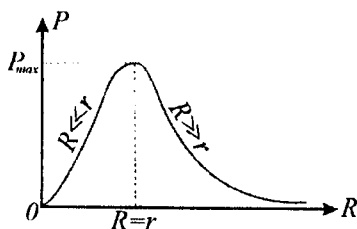
Ҷоиз аст таъкид намоем, ки аз ҳисоби иқтидори ғойиданок дастгоҳҳои электрӣ (масалан муҳаррикҳои троллейбусу трамвайҳо ва мошинҳои дигари электрӣ) ба қор дароварда мешаванд, реаксияҳои кимиёвӣ дар аккумуляторҳо (заряднок қардани онҳо), истехсоли металлҳо (масалан алюминий дар заводи алюминийи ш. Турсунзода) амалӣ мешаванд.

Иқтидоре, ки манбаъ вусъат медиҳад, ба муқовимати барбаст R вобаста мебошад. Он ҳангоми расиши кӯтоҳ ($R=0$) қимати зиёдтарин мегирад, вале дар ин маврид иқтидор пурра дар дохили манбаъ вусъат меёбад ва тамоми беғойида аст (манбаъ гарм мешаваду бас). Ба ин муносибат савол ба миён меояд, ки дар қадом шароит иқтидори ғойиданок қимати зиёдтарин (максималӣ) мегираду истифодаи он беш аз пеш мусоидтар мешавад?

Барои ба ин савол ҷавоб дарёфтани аз ифодаи (2.27) нисбат ба R ҳосила гирифта ба сифр баробар мекунем (шарти экстремуми функсия):

$$\frac{\partial P}{\partial R} = \varepsilon^2 \frac{(R+r)^2 - 2(R+r)R}{(R+r)^4} = \varepsilon^2 \frac{R+r-2R}{(R+r)^3} = 0.$$

Аз ин ҷо ҳангоми $R=r$ дорой қимати зиёдтарин шудани иқтидори ғойиданокро муқаррар менамоем. Ҳамин аст, ки вобастагии P ба муқовимати борбаст R ба тарзи графикӣ чун дар расми 2.5 оварда шуда тасвир меёбад.



Расми 2.5

Яъне, ба қадри афзудани R иқтидори ғойиданок P аввало то қимати зиёдтарин гирифтаниш мсафзояд (қитъаи OP_{max}). Дарвоқеъ, барои қиматҳои хурдтари муқовимати борбаст ($R < r$) ифодаи (2.27) - ро чун:

$$P \approx \frac{\varepsilon^2 R}{r}$$

пешниҳод қарда метавонем, ки рафти қитъаи OP_{max} -ро шарҳ медиҳад. Баъди дар шарти $R=r$ қимати зиёдтарин гирифтани P дар мавриди $R > r$ ифодаи (2.28)-ро ба намуди:

$$P \approx \frac{\varepsilon^2}{R}$$

оварда. ҳулоса баровардан душвор нест, ки бо афзоиши минбаъдаи R иқтидори ғойиданок кам шуда меравад.

Масъалаи 2.5. Манбаии чараён дар мавридҳои бевосита ба муковиматҳои берунаи $R_1=5 \text{ Ом}$ ва $R_2=0,2 \text{ Ом}$, пайвасти кардан иқтидорҳои баробарро вусъати медиҳад. ККФ - и манбаъ дар ин мавридо ёфта шавад.

Маълумот:

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= 5 \text{ Ом} \\ R_2 &= 0,2 \text{ Ом} \\ P_1 &= P_2 \\ \eta_1 - ? \quad \eta_2 - ? \end{aligned} \right|$$

Ҳал
Иқтидорҳои ки дар муковиматҳо вусъати меёбанд:

$$I_1^2 R_1 = I_2^2 R_2,$$

аз ин ҷо:

$$\frac{I_2}{I_1} = \sqrt{\frac{R_1}{R_2}} = 5$$

буданаширо доништа, муковимати

дохилии манбаъро бо дар назардошти қонуни Ом барои занҷири пурра муайян кардан душвор нест:

$$\mathcal{E} = I_1(R_1 + r) = I_2(R_2 + r);$$

ё ки

$$\frac{R_1 + r}{R_2 + r} = \frac{I_2}{I_1} = 5,$$

аз ин ҷо $r=1 \text{ Ом}$.

Пас,

$$\eta_1 = \frac{R_1}{R_1 + r} = \frac{5 \text{ Ом}}{5 \text{ Ом} + 1 \text{ Ом}} = 0,83$$

$$\eta_2 = \frac{R_2}{R_2 + r} = \frac{0,2 \text{ Ом}}{1,2 \text{ Ом}} = 0,167 \approx 0,17$$

Ҷавоб: $\eta_1 = 83\%$; $\eta_2 = 16,7\% \approx 17\%$.

§2.5. Қойидаҳои Кирхгоф

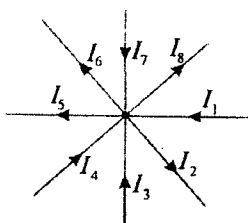
Олими олмонӣ Г.Р. Кирхгоф (1824-1887) қонуниятҳои дар занҷирҳои мураккаби шохадор ҷорӣ шудани чараёно омӯхта, солиҳои 1845-1847 барои ҳисоби китоби ин гуна занҷирҳо ду қойидаеро пешниҳод намуд, ки номи ӯро гирифтаанд.

Дар ҳар гуна занҷирҳои шохадоре, ки аз муковиматҳои гуногун ташкил ёфтаанду дар онҳо манбаъҳои чараён амал мекунанд, бо татбиқи қонуни Ом (§2.3) ва қонуни бақои заряд (§1.1) қувваи чараён ва фарқи потенциалҳоро дар ҳама ҷиғҳои занҷир дарёфтан мумкин аст. Аммо масъала бо истифодаи ду қойидаи Кирхгоф ҳеле содда ҳал мешавад.

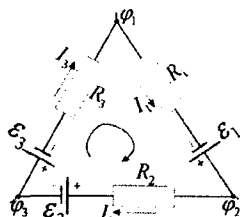
Қойидаи якум ба ғиреҳҳои занҷир тааллуқ дорад. *Ғиреҳ* гуфта нуктаи буриши зиёда аз ду шоки чараёндорро мефаҳманд, ки шартан қувваи чараёнҳои ба ғиреҳ воридшаванда мусбату аз ғиреҳ барояндаи маишӣ ҳисоб меёбанд.

Койидаи якӯми Кирхгоф. Суммаи алгебравии қувваи ҷараёнҳо дар ҳар гуна ғиреҳи занҷир баробари сифр (0) аст:

$$\sum_{k=1}^N I_k = 0. \quad (2.31)$$



Расми 2.6



Расми 2.7

Чунончӣ, барон ғиреҳе, ки дар расми 2.6 тасвир ёфтааст, койидан якӯм чунин сабт мешавад:

$$I_1 - I_2 + I_3 + I_4 - I_5 - I_6 + I_7 - I_8 = 0.$$

Бояд таъкид кард, ки койидан якӯм натиҷаи қонуни бақон заряд аст. Дарвоқеъ, дар ҳар гуна ғиреҳи занҷири ҷараёнҳои доимӣ заряд бояд ҷамъ ё кам нагардад, вагарна потенциали ғиреҳ дигар мешавад, ки ба тағйирёбии қувваҳои ҷараён меоварад.

Койидаи дуҷуми Кирхгоф. Суммаи алгебравии афтиши шиддатҳо дар ҳар китъаҳои алоҳидаи контури сарбастии занҷир ба суммаи алгебравии ҚЭХ - хое, ки дар ин контур амал мекунанд, баробар аст:

$$\sum_{k=1}^n I_k R_k = \sum_{i=1}^N \mathcal{E}_i \quad (3.32)$$

Дарвоқеъ, барон китъаҳои контури сарбасте, ки дар расми 2.7 тасвир ёфтааст, қонуни Ом (2.21) намудҳои зерин дорад:

$$I_1 R_{1,2} = \varphi_1 - \varphi_2 + \mathcal{E}_1;$$

$$I_2 R_{2,3} = \varphi_2 - \varphi_3 - \mathcal{E}_2;$$

$$I_3 R_{3,1} = \varphi_3 - \varphi_1 - \mathcal{E}_3.$$

Ин муодилаҳоро аъзо ба аъзо ҷамъ намуда, ифодаи зеринро ҳосил мекунем:

$$I_1 R_{1,2} + I_2 R_{2,3} + I_3 R_{3,1} = \mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_3,$$

ки тасдиқи койидаи дуҷуми Кирхгоф мебошад.

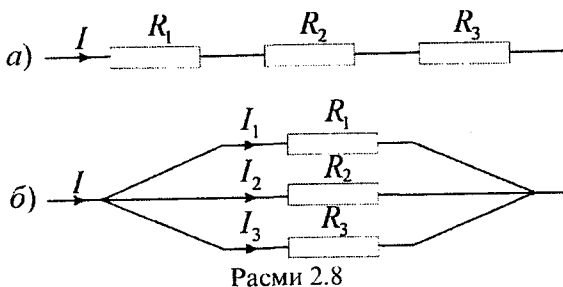
Ҳангоми татбиқи койидаи дуҷуми Кирхгоф аввало бояд самти ғашти контурро ихтиёрӣ интиҳоб кард ва дар ҳоли бо ин самт мувофиқ омадани самти ҷараёни китъа афтиши шиддат ($I_k R_k$) дар он бо аломати «+», вагарна бо аломати «-» гирифта мешавад. Таъкид кардан ҷойиз аст, ки агар самти ҷараён дар китъаҳои алоҳидаи контур маълум набояд, онро ихтиёрӣ, вале оқилона бояд нишон дод (ҳама ҷараёнҳо ба ғиреҳ ворид нашаванд ё аз он набароянд!).

Агар ба самти гардиши контур аз қутби манфӣ манбаи ҷараён ба қутби мусбатӣ он гузарем, ҚЭХ - и манбаъ мусбату дар акси ҳол манфӣ ҳисоб мешавад.

Хотирнишон сохтан бамаврид аст, ки агар баъди ҳисобу китоби занҷир қувваи ҷараёни ягон қитъа бо аломати «-» ҳосил шавад, ин натиҷа далели он аст, ки самти ихтиёран интиҳобкардаи ҷараёни қитъа дар асл муқобил будааст.

Пеш аз он, ки намунаҳои татбиқи қоидаҳои Кирхгофро барасӣ намоем, аз барномаи мактабии миёна пайвасти пай дар пай ва параллели резисторҳоро ёдрас мешавем: ҳангоми *пайвасти пай дар пайи резисторҳо*^{*} (расми 2.8, а), муқовимати натиҷавӣ ба ҳосили ҷамъии муқовимати резисторҳои алоҳида баробар аст:

$$R_{\text{ум}} = R_1 + R_2 + \dots + R_N = \sum_{k=1}^N R_k. \quad (2.33)$$



Дар мавриди пайвасти N -то резистори муқовиматашон баробари

$$R_{\text{ум}} = NR. \quad (2.34)$$

Ҳангоми тарзи пайвасти пай дар пайи резисторҳо қувваи ҷараёни қулли онҳо ҳамон як қимат дорад:

$$I_1 = I_2 = \dots = I_N = I$$

ва афтиши шиддати умумӣ ба ҳосили ҷамъии афтиши шиддат дар резисторҳои алоҳида баробар аст:

$$U_{\text{ум}} = U_1 + U_2 + \dots + U_N = \sum_{k=1}^N U_k.$$

Дар тарзи пайвасти параллелии резисторҳо (расми 2.8, б) муқовимати натиҷавӣ мувофиқи формулаи:

^{*})Аз сухани англисии resistor - муқовимат нишон додаи омадааст ва резистор гуфта нокили муқовиматаш маълумро мефаҳманд.
 R , муқовимати умумӣ назар ба муқовимати якто резистор N маротиб зиёд мешавад:

$$\frac{1}{R_{\text{ум}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_N} = \sum_{k=1}^N \frac{1}{R_k} \quad (2.35)$$

муайян карда мешаваду афтиши шиддат дар хама резисторҳо ҳамон як қимат дорад:

$$U_{\text{ув}} = U_1 = U_2 = \dots = U_N = U.$$

Вале қувваи ҷараёни умумӣ ба ҳосили ҷамъи қувваҳои ҷараёни резисторҳои алоҳида баробар аст:

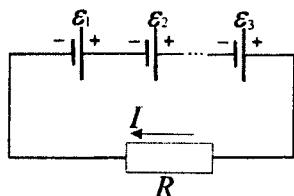
$$I_{\text{ув}} = I_1 + I_2 + \dots + I_N = \sum_{k=1}^N I_k$$

Дар ҳоли пайвасти параллелии N -то резисторҳои муқовиматашон баробар муқовимати натиҷавӣ назар ба муқовимати якто резистор N маротиба кам мешавад:

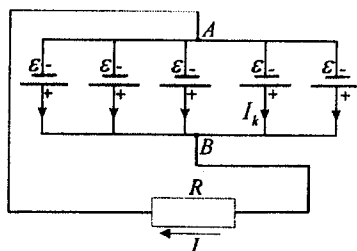
$$R_{\text{ув}} = \frac{R}{N}. \quad (2.36)$$

Акнун чанд намунаи мушаххаси татбиқи амалии қоидаҳои Кирхгофро меоварем.

а) Пайвасти пай дар пайи манбаъҳои ҷараён. Дар ин тарзи пайваст қутби мусбати манбаи якум бо қутби манфии манбаи дуюм, қутби мусбати ин манбаъ бо қутби манфии манбаи сеюм ва ҳоказо васл мешаванд ва ҷараёни занҷир аз муқовимати берунаи R (борбаст) мегузарад (расми 2.9).



Расми 2.9



Расми 2.10

Мувофиқи қоидаи дуҷуми Кирхгоф ифодаи зеринро сабт карда метавонем:

$$I(R + r_1 + r_2 + r_3) = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3,$$

Аз ин ҷо:

$$I = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3}{R + r_1 + r_2 + r_3}. \quad (2.37)$$

Дар ҳоли N -то манбаъҳои айнан якхела ($\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \dots = \varepsilon_N = \varepsilon$)-ро пай дар пай васл кардан қувваи ҷараёни борбаст бо формулаи зерин муайян карда мешавад:

$$I = \frac{N\varepsilon}{R + Nr}, \quad (2.37)$$

ки дар ин ҷо r -муқовимати дохилии яке аз манбаъҳост.

б) Пайвасти параллелии манбаъҳои ҷараён. Дар ин тарзи пайваст қутби мусбати манбаъҳо дар як нукта (нуктаи B расми 2.10) ва қутби манфӣ дар нуктаи дигар (A) васланд.

Бояд таъкид кард, ки танҳо манбаъҳои ҚЭХ (ε) ва муқовимати дохилиашон якандоза (r)-ро параллелан пайваст кардан мебояд, зеро дар мавриди манбаъҳои ҚЭХ - ҳояшон нобаробарро параллелан васл кардан манбаи ҚЭХ - аш хурд барои манбаҳои ҚЭХ - ашон зиёд истеъмолагари энергияву боиси хароб гардидани батарея мешаванд.

Акнун барои занҷири хар як манбаъ қойидаҳои якҷумла дуҷумла Кирхгофро татбиқ менамоем:

$$(IR)_k + rI_k = \varepsilon_k$$

ва ҳамаи ин гуна муодилаҳоро барои кулли манбаъҳо татбиқу онҳоро

аъзо ба аъзо ҷамъ мекунем ва бо назардошти он, ки $\sum_{k=1}^N (IR)_k = NIR$,

$\sum_{k=1}^N I_k = I$; $\sum_{k=1}^N \varepsilon_k = N\varepsilon$ мебошанд, аз ин рӯ барои тарзи пайвасти параллелии зикрқфта муодилаи зерин ёфт мешавад:

$$NIR + Ir = N\varepsilon,$$

аз ин ҷо:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + (r/N)}. \quad (2.39)$$

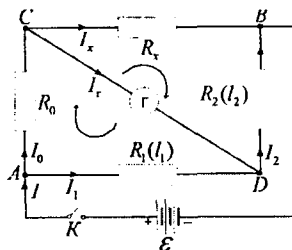
Пас, ҳангоми пайвасти параллелии манбаъҳои ҚЭХ ва муқовимати дохилиашон якандоза-и батарея ба ҚЭХ-и якто манбаъ, вале муқовимати дохилиаш r/N мутобиқи (2.38), яъне назар ба муқовимати дохилии якто манбаъ N маротиба кам мебошад. Чунин тарзи пайвасти манбаъҳо дар мавриди $R \ll r$ будан манфиатнок аст. Дарвоқеъ, ҳангоми $R \ll r$ (2.39) - ро ба намуни

$$I = N \frac{\varepsilon}{r} \quad (2.40)$$

пешниҳод карда метавонем. Яъне, дар ин маврид қувваи ҷараён дар занҷир назар ба қувваи ҷараён, ки якто манбаъ ҳосил мекунад, N маротиба меафзояд.

в) Муайян кардани муқовимати ноқилҳо бо усули дастгоҳи таҷрибавии Уитстон^{*)}. Дар ин усул муқовимати номаълум (R_x), муқовимати маълум R_0 , (кимати он аз магазини муқовиматҳо интихоб карда мешавад), инчунин муқовиматҳои R_1 ва R_2 (муқовимати ду қитъаи дарозиашон мувофиқан l_1 ва l_2 -и сими якҷинсаи муқовимати ҳосаш зиёд, масалан сими нихромӣ, ки *реоҳорд* ном дорад ва аз рӯйи он лағжонаки бо галванометр васлбударо давондан мумкин аст) ба сифати тарафҳои чоркунча (расми 2.11) пайваст мебошанд. Ба яке аз диагональҳо галванометри ҳассос (нуқтаҳои C ва D), дар диагонали дигар (нуқтаҳои A ва B) манбаи ҷараён васланд (қувваҳои ҷараён ва самтҳои онҳо дар расми 2.11 нишондода шудаанд).

^{*)} Ч. Уитстон (1802-1875)-олими англис, ки с. 1843 усули саҳеҳ чен кардани муқовимати ноқилҳоро ихтироъ намуд ва ин усул бо номи кўпрукча (ё пулак)-и Уитстон маъмул гаштааст.



Расми 2.11

Мувофиқи қойидаи якуми Кирхгоф барои нуктаҳои

$$C: I_0 - I_r - I_x = 0; \quad (1)$$

$$D: I_1 + I_r - I_2 = 0 \quad (2)$$

ва қойидаи дууми Кирхгоф барои контури сарбастии $A \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$:

$$I_0 R_0 - I_r R_r - I_1 R_1 = 0, \quad (3)$$

дар ин ҷо I_r -қувваи ҷараён дар галванометр, R_r -муқовимати он ва баробари сифр будани тарафи ростӣ (3) далели дар контур амал накардани манбаи ҷараён мебошад. Айнан барои контури сарбастии $C \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow C$ қойидаи дууми Кирхгоф чунон сабт меёбад:

$$I_x R_x - I_2 R_2 - I_r R_r = 0. \quad (4)$$

Муқовиматҳои R_0 , R_1 ва R_2 - ро қадре интихоб мекунанд, ки аз галванометр ҷараён нагузарад ($I_r = 0$), он гоҳ:

$$I_x = I_0; \quad I_1 = I_2; \quad (5)$$

$$I_x R_x = I_2 R_2; \quad I_0 R_0 = I_1 R_1 \quad (6)$$

мешаванд. Ақсун баробариҳои (6) - ро аъзо ба аъзо тақсим мекунем:

$$\frac{I_x R_x}{I_0 R_0} = \frac{I_2 R_2}{I_1 R_1} \quad (7)$$

ва баробариҳои (5) - ба эътибор мегирем. Дар натиҷа таносуби зерин ҳосил мешавад:

$$R_x = R_0 \frac{R_2}{R_1}. \quad (8)$$

Агар ба назар гирем, ки R_1 ва R_2 муқовиматҳои қитъаҳои ҳамон як сим (*резорд*) мебошанд:

$$R_1 = \rho \frac{l_1}{S}; \quad R_2 = \rho \frac{l_2}{S}, \quad (9)$$

дар ин ифодаҳо ρ - муқовимати ҳосил сим, S - масоҳати бурришгоҳи он аст. Аз ин рӯ таносуби (8) намуди зерин мегирад:

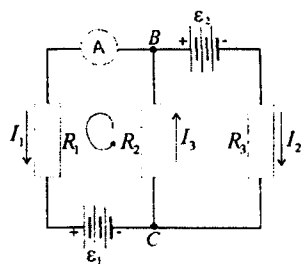
$$R_x = R_0 \frac{l_2}{l_1} \quad (10)$$

Ҳамин аст формулае, ки тавассути он муқовимати номаълуми R_x - ро муқаррар кардан мумкин аст.

Масъалаи 2.6. Дар расми 2.12 батареяҳо дорои ҚЭХ ... ҳои $\mathcal{E}_1 = 110 \text{ В}$, $\mathcal{E}_2 = 220 \text{ В}$, муковиматҳои $R_1 = R_2 = 100 \text{ Ом}$; $R_3 = 500 \text{ Ом}$ мебошанд. Амперметр чӣ қадар қувваи ҷараёноро нишон медиҳад? (муковиматҳои дохилии манбаъ ва амперметр сарфи назар карда шаванд).

Маълумот:

$\mathcal{E}_1 = 110 \text{ В}$
$\mathcal{E}_2 = 220 \text{ В}$
$R_1 = R_2 = 100 \text{ Ом}$
$R_3 = 500 \text{ Ом}$
$I_1 = ?$



Расми 2.12

Ҳал

Мувофиқи қоидаи якуми Кирхгоф дар нуктаи С:

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0 \quad (1)$$

аст. Татбиқи қоидаи дуюми Кирхгоф барои ду контури сарбаст, ки ҳар яке манбаъ ва ду муковимат ($\mathcal{E}_1$, R_1 , R_3 ва $\mathcal{E}_2$, R_2 , R_3) - ро дарбар мегирад, дар ҳоли самти гардишро дар аввала ба муқобили рафти ақрабаки соату дар контури дигар ба рафти ақрабаки соат интихоб кардаи ду муодилаи зеринро медиҳад:

$$I_1 R_1 + I_3 R_3 = \mathcal{E}_1; \quad I_2 R_2 + I_3 R_3 = \mathcal{E}_2 \quad (2)$$

ё

$$100 I_1 + 500 I_3 = 110; \quad 100 I_2 + 500 I_3 = 220. \quad (3)$$

Муодилаҳои (3) - ро аъзо ба аъзо ҷамъ мекунем:

$$100(I_1 + I_2) + 100 I_3 = 330. \quad (4)$$

Бо дар назардошти (1) ин муодиларо ба намуди $1100 I_3 = 330$ оварда, қувваи ҷараёни I_3 - ро муайян карда метавонем:

$$I_3 = \frac{330}{1100} = 0,3 \text{ А.}$$

Акнун бо истифодаи муодилаи якуми (3) дарёфтани I_1 , ки онро амперметр нишон медиҳад, душвор нест:

$$I_1 = \frac{110 - 500 I_3}{100} = \frac{110 - 150}{100} = -0,4 \text{ А.}$$

Аломати минус дар қимати I_1 далели он аст, ки самти дар расми 2.12 интихобкардаи I_1 ба асл муқобил будааст.

Ҷавоб: $I_1 = -0,4 \text{ А}$.

§2.6. Намуди дифференсиалии қонунҳои Ом ва Ҷоули Ленс

Қонуни Ом дар намуди (2.16) ва формулаи (2.18) тапҳо барои ноқилҳои цилиндришакл татбиқ карда мешаванд. Вале дар амалии масъалаҳои дарёфтани қувваҳои ҷараён дар ноқилҳои паҳнову шаклашон гуногун, масалан электролитҳо, ки андаруни ваннаҳо

чойгиранд. ба миён меоянд. Дар ин мавридҳо формулаҳои зикрёфта созгор нестанд. Хамин аст, ки қонуни Омро дар намуди дигар пешниҳод мекунанд ва он барои ҳалли масъалаҳои ҳисобу китоби чараён дар муҳитҳои чараёнгузари шаклашон ихтиёри мувофиқ бошад.

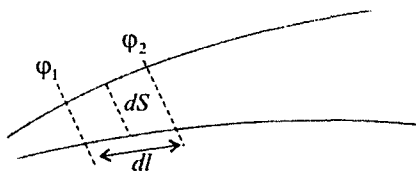
Фарз мекунем, ки муҳити чараёнгузар шакли дар расми 2.13 тасвирёфта дорад.

Дар қитъаи начандон калони дарозиаш dl ду сатҳи эквипотенциалии потенциалҳои φ_1 ва φ_2 -ро фикран ҷудо мекунем. Агар масоҳати бурришгоҳи миёлҷойи муҳит dS бошад. Қонуни Ом (2.16) ва формулаи (2.18) - ро дар ин маврид ба намуди:

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{\rho \left(\frac{dl}{dS} \right)}$$

пешниҳод карда метавонем. Бузургии ба ном *поқилияти ҳосро*, ки одатан онро бо ҳарфи γ ишорат мекунанд:

$$\gamma = \frac{1}{\rho} \quad (2.41)$$



Расми 2.13

ворид сохта ба этибор мегирем, ки қувваи чараён тавассути зичии чараён j :

$$I = j dS$$

ва шадидияти майдони электрӣ:

$$|\vec{E}| = -\frac{d\varphi}{dl}$$

мебошанд. Аз ин рӯ қонуни Ом намуди зерин мегирад:

$$\vec{j} = \gamma \vec{E}. \quad (2.42)$$

Дар ин ифода дар назар дошта шуд, ки зичии чараён ва шадидият бузургҳои векторӣ ва андаруни муҳитҳои чараёнгузари изотронӣ (хосиятҳои он дар ҳама самтҳо бефарқ) дар ҳамаи як нуқта ҳамсамтанд, ҳарчанд дар муҳитҳои анизотронӣ (муҳитҳое, ки хосиятҳои он дар самтҳои гуногун тафовут доранд), масалан, дар аксар кристаллҳо векторҳои $\vec{j}$ ва $\vec{E}$ ҳамсамт набуданашон мумкин аст.

Таносуби (2.42) ҳамчун *намуди дифференциалии қонуни Ом* дониста мешавад ва он аз (2.16) - *намуди интегралӣ қонуни Ом* фарқ мекунад, зеро ҳолати электрии муҳитро дар ҳамаи як нуқта тавсиф медиҳад.

Масъалаи 2.7 Аз нокили мисини диаметраш 2,0 мм чараёни куввааш 5,0 А чорист. Зичии чараён ва шадиияти майдони электрӣ андаруни ин нокил муайян карда шавад.

Маълумот:

$$d = 2,0 \text{ мм} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$I = 5 \text{ А}$$

$$\rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$$j - ? \quad E - ?$$

Ҳал

Мувофиқи таъриф:

$$j = \frac{I}{S} = \frac{I}{\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{4I}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 5}{3,14 \cdot (2 \cdot 10^{-3})^2} \frac{\text{А}}{\text{м}^2} \approx 1,6 \cdot 10^6 \text{ А/м}^2$$

Аз ифодаи намуди дифференсиалии қонуни Ом (2.42) бармеояд, ки:

$$E = \rho \cdot j = 1,7 \cdot 10^{-8} \cdot 1,6 \cdot 10^6 \text{ В/м} = 2,7 \cdot 10^{-2} \text{ В/м}$$

мебошад ва аз ин натиҷа маълум мешавад, ки бо таъсири майдонҳои хеле сусти ҳам чараён ба вучуд овардан мумкин аст.

Ҷавоб: $j \approx 1,6 \cdot 10^6 \text{ А/м}^2$; $E = 2,7 \cdot 10^{-2} \text{ В/м}$.

Акнун қонуни Ҷоулу Ленс (2.30)-ро низ дар намуди дифференсиалӣ пешниҳод мекунем. Барои ин (2.30)-ро ба порчаи хеле хурди муҳити чараёнгузари масоҳати арзиаш dS ва дарозиаш dl татбиқ менамоем:

$$\delta Q = (jdS)^2 \rho \frac{dl}{dS} dt = j^2 E^2 dldSdt$$

Агар ба эътибор гирем, ки $dldS = dV$ -элементи хурди ҳаҷми муҳити чараёнгузар мебошад ва

$$w = \frac{\delta Q}{dVdt} \quad (2.43)$$

миқдори гармиест, ки дар муддати 1 с дар воҳиди ҳаҷми муҳит хориҷ мегардад, яъне зичии *иктидор* мебошад. Ҳамин аст, ки қонуни Ҷоулу Ленсро дар намуди дифференсиалӣ:

$$w = j^2 E^2 \quad (2.44)$$

мебошад.

§2.7. Назарияи классикии электронӣ

Бо мақсади муқаррар кардани табиати чараёни электрӣ олими олмонӣ К. Рикке (1845-1915) аз се силиндри якандозаи сатҳи асосҳояшон хеле суфтаи пай дар пай дар контакт (тамос) - и хуби электрӣ будаи алюминӣ, сипас мисин ва боз алюминӣ дар тӯли анкариб як сол (с. 1901) чараёни электрии дойимӣ сар дода, аз онҳо умуман бо қадри $3,5 \cdot 10^6 \text{ Кл}$ заряд гузаронд. Вале накли модда ошкор нагардид. Дар цилиндриҳо ғайр аз андаруни якдигар воридшавии диффузионии моддаҳо дигар тағйироте боқӣ намонд. Маълум гардид, ки чараён дар нокилҳои металлӣ ҳаракати атомҳо (дурусттараш ионҳо) нест.

Олимони рус Л.И. Манделштам (1879-1944) ва Н.Д. Папалекси (1880-1947) соли 1911 нӯғҳои нокили дар шакли ғалтак печондашударо ба телефон пайвастанду ғалтакро дар атрофи меҳвараш бо суръати калон гардиш дода, якбора аз ҳаракат боздоштанд ва аз телефон гузаштани чараёни кӯтоҳмуддатро ошкор сохтанд (дар ғӯшаки телефон садои хашар-хушур шунида шуд). Аз ин таҷриба олимон хулоса гирифтанд, ки дар металл зарраҳои озоди заряднок ҳастанд ва онҳо баъди аз гардиш боздоштани ғалтак (чун одамони дар автобус ростистода ҳангоми фаврӣ тормоз хӯрдани он) ба туфайли инерсия ҳаракаташонро муддате идома медиҳанд. Вале ин таҷриба имкон надод, ки табиати он зарраҳо муқаррар карда шавад.

Олими амриқӣ Р.Ч. Толмен (1881-1948) таҷрибаи Манделштаму Папалекси ва аз ин пештар гузаронидаи ҳамватанааш В. Стюарт (1828-1887)-ро тақмил дода, с. 1916 ба ҷойи телефон ғалванометри ҳассосро васл сохт ва микдори заряди ҳос (q/m)-и зарраҳои озоди тавассути инерсия ҳаракатмандро чен кард. Маълум гардид, ки заряди ҳоси он аз зарраҳо ба электронҳои ҳанӯз с. 1897 кашф кардаи олими англис Ч.Ч. Томсон (1856 - 1940) мувофиқ меояд. Ҳамин тавр чараёни электроиро дар металлҳо ташкил додани ҳаракати электронҳо муқаррар карда шуд.

Натиҷаҳои таҷрибаҳои дар боло зикрфтаро ба эътибор гирифта, олими олмонӣ П.К. Дрүде (1863-1906) асосҳои назарияи классикии электроиш борҳо ёдрасшударо бунёд кард (с. 1900). Минбаъд назарияи электроиро олими нидерландӣ Ҳ.А. Лоренс (1858-1926) тақмил дод. Ҳамин аст, ки назарияи классикии электроиро назарияи Дрүде - Лоренс низ меноманд.

Назарияи классикии электронӣ мавҷудияти электронҳои озодро чунин шарҳ медиҳад. Ҳангоми ташаққули панҷараи кристаллии металл дар натиҷаи ҳамтаъсири атомҳо як ё якчанд электронҳояшонро гум карда, яъне ба ионҳои мусбат табдил ёфта дар қуллаҳои панҷара ҷойгир мешаванд. Электронҳои аз таъсири ядроҳо раҳогардида дар ҳаҷми порчаи металл ҳамчун «моликияти умумӣ» парешон мешаванд ва ба ҳаракати бетартибонаи ҳароратӣ меаҷароянду чун гази идеалӣ рафтор мекунанд. Агар ҳатто ҳар як атом яктои электрои озодро ба вучуд орад ҳам, шумораи ин гуна электронҳо дар воҳиди ҳаҷм, яъне консентратсияи онҳо ҳеле бузург мешавад (чунончи, дар мис $n = 8,4 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$ аст). Ба ин гази идеалии электронӣ ҳама қонунҳои назарияи молекулавӣ-кинетикиро татбиқ кардан раво аст. Масалан, суръати ҳаракати ҳароратии электронҳо

$$g = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$$
 дар температураи ҳона ($T = 300 \text{ К}$, $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$) анқариб

10^5 м/с буданаҳ маълум мегардад, ки назар ба суръати ҳаракати ботартибонаи электронҳо ҳангоми аз металл гузаштани чараён g (ба масъалаи 2.1 ниг) ҳеле зиёд аст.

Тавассути ҳаракати ҳароратӣ электронҳо аз як бархӯрд бо иони панҷараи кристаллӣ то бархӯрди дигар дарозии миёнаи дави озод $\langle l \rangle$ - ро дар тӯли вақти:

$$\tau = \frac{\langle l \rangle}{g + g_T} = \frac{\langle l \rangle}{g_T}$$

мегузарад.

Бо сабаби $\vartheta \ll \vartheta_r$ буданаш ҳангоми дар майдони электрии шадидияташ E ҳаракати ботартибона кардани электрон бузургҳои $\langle l \rangle$ ва $\langle \tau \rangle$ тағйироти назаррасе наменпазиранд.

Назарияи классикии электронӣ бисёр қонуниятҳои ҷараёни доймиро сифатан хуб шарҳ медиҳад. Бо баъзеи онҳо шинос мешавем.

Қонуни Ом. Ҳангоми дар нӯғҳои ноқил гузоштани фарқи потенциалҳои бетағйир ба электрон қувваи дойимии $F = eE$ таъсир мекунад ва дар натиҷа он дорои шитоби:

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

мешавад. Дар ҳоли бархӯрд бо ион электрон тамоми энергияи кинетикии бо таъсироти майдон доро гаштаашро ба ион медиҳад. Дар натиҷа электрон то бархӯрди навбатӣ собитшито ба ҳаракат карда, суръаташро аз 0 то $\vartheta_{\max}$ меафзояд:

$$\vartheta_{\max} = a\tau = \frac{eE}{m}\tau. \quad (2.45)$$

Ин гуна ҳаракати аз як бархӯрд то бархӯрди дигар китъа-китъаи электронро чун ҳаракати мунтазами суръаташ ба суръати миёнаи ҳаракати собитшито ба баробар ҳисобидан раво аст:

$$\langle \vartheta \rangle = \frac{0 + \vartheta_{\max}}{2} = \frac{eE\tau}{2m} = \frac{e\langle l \rangle}{2m\vartheta_r} E.$$

Аз ин рӯ зичии ҷараён мувофиқи (2.7):

$$j = ne\langle \vartheta \rangle = \frac{ne^2\langle l \rangle}{2m\vartheta_r} E \quad (2.46)$$

буданаш маълум мегардад. Ин ифодаҳо бо қонуни Ом дар намуди дифференсиалӣ (2.42) муқоиса карда, барои ноқилият ва муқовимати ҳос формулаҳои зеринро меёбем:

$$\gamma = \frac{ne^2\langle l \rangle}{2m\vartheta_r}; \quad \rho = \frac{2m\vartheta_r}{ne^2\langle l \rangle}. \quad (2.47)$$

Аз ин ҷо хулосаи муҳиме бармеояд, ки сабабгори муқовимати ноқилҳо бархӯрдҳои сершумори электронҳо бо ионҳо ($n = 10^{28} \div 10^{29} \text{ м}^{-3}$) ва байни худ мебошанд, ки дар натиҷа электронҳо дар айни замон аз бурришҳои ноқил мувофиқан камтар мегузаранд.

Қонуни Ҷоулу Ленс. Ҳангоми бархӯрд бо ион, тавре ки зикр ёфт, электрон энергияи кинетикии дар тӯли вақти τ доро гаштаашро ба ион медиҳад:

$$\varepsilon_{\max} = \frac{m\vartheta_{\max}^2}{2} = \frac{m}{2} \left(\frac{eE\tau}{m} \right)^2 = \frac{e^2\tau^2}{2m} E^2. \quad (2.48)$$

Ҳамин аст, ки ионҳо ба ҳаракати лаппишноки амплитудааш афзоянда медароянд ва дар натиҷа металл гарм мешавад.

Энергияи (2.48) - ро ба концентратсияи электронҳо n зарб ва тӯли вақти τ тақсим карда, миқдори гармии дар воҳиди ҳаҷми ноқил дар воҳиди вақт ҳориҷ гардида, яъне зичии иқтидорро меёбем:

$$w = \frac{ne^2\tau}{2m} E = \frac{ne^2 \langle l \rangle}{2m\vartheta_T} E^2 = \gamma E^2. \quad (2.49)$$

Дар натиҷа қонуни Ҷоулу Ленс (2.44) дар намуди дифференциалӣ ҳосил мешавад.

Қонуни Видеману Франс. Металлҳо қобилияти хуби ҷараёну ҳамзамон гармигузаронӣ доранд. Ба ин муносибат олимони олмонӣ Г. Видеман ва Р. Франс с. 1853 тавассути таҷриба қонунро кашф карданд, ки номи онҳоро гирифтааст. Мувофиқи ин қонун нисбати коэффитсиенти гармигузаронӣ (λ) бар ноқилияти ҳос (γ) барои ҳама металлҳо дар ҳамаҷон як температура қимати якандоза дошта, ба температураи термодинамикӣ (T) мутаносибан меафзояд:

$$\frac{\lambda}{\gamma} = \beta T. \quad (2.50)$$

Дарвоқеъ, мувофиқи назарияи молекулавӣ-кинетикӣ гази идеалӣ коэффитсиенти гармигузаронӣ:

$$\lambda = \frac{1}{3} mn \vartheta_T \langle l \rangle c_v \quad (2.51)$$

мебошад, ки дар ин ҷо ҳамчун зичии газ ҳосили зарби nm омадааст ва агар гармигунгоиши ҳоси газ:

$$c_v = \frac{3}{2} \frac{k}{m} \quad (2.52)$$

буданаширо ба эътибор гирем, барои λ ифодаи

$$\lambda = \frac{1}{2} n \vartheta_T k \langle l \rangle \quad (2.53)$$

ҳосил мешавад (дар ин ҷо k -дойимии Болсман аст). Азбаски

$$\frac{m \vartheta_T^2}{2} = \frac{3}{2} k T$$

мебошад, таносуби зерин ҷой дорад:

$$\frac{\lambda}{\gamma} = 3 \left(\frac{k}{e} \right)^2 T = 2,23 \cdot 10^{-8} T, \quad (2.54)$$

ки тасдиқи қонуни Видеман - Франс аст. Дар он ҳамчун коэффитсиенти мутаносибӣ:

$$\beta = 3 \left(\frac{k}{e} \right)^2 = 2,23 \cdot 10^{-8}$$

омадааст, вале ин қимат ба натиҷаи таҷриба чандон саҳеҳ мувофиқат намекунад. Дар асоси назарияи муносири квантӣ:

$$\beta = \frac{\pi^2}{3} \left(\frac{k}{e} \right)^2 = 2,45 \cdot 10^{-8}$$

мебошад, ки қимати таҷрибавиро пурра тасдиқ мекунад. Хотирнишон кардан бамаврид аст, ки назарияи классикӣ электронӣ гайр аз ин камбӯдӣ дар шарҳи таносуби байни муқовимати ҳос ρ ва температура T натиҷаи нодуруст медиҳад. Дарвоқеъ, аз (2.47) бармеояд, ки ρ ба ϑ_T

ва дар навбати худ ϑ ба $\sqrt{T}$ мутаносиб мебошад, ҳол он ки таҷриба мувофиқи (2.19) ρ ба T мутаносиб буданаширо нишон медиҳад. Зидда аз он, аз қимати таҷрибавии ρ бармеояд (ба ҷадвали § 2.3 овардашуда ниг.), ки мувофиқи назарияи классикии электронӣ тӯли вақти аз як бархӯрд бо нон то бархӯрд бо иони дигар τ бояд тақрибан 10^{-14} с ва аз ин рӯ дар ҳоли $\langle \vartheta \rangle = 10^{-4}$ м/с будан дарозии роҳи озоди электронҳо бояд $\langle l \rangle = \langle \vartheta \rangle \tau \approx 10^{-18}$ м шавад, ки назар ба масофаи байни ду иони наздиктарин, яъне даври панҷара $d \approx 10^{-10}$ м хеле хурд аст. Ин номувофиқатӣ чунин шарҳ меёбад. Дар асоси назарияи квантӣ электронҳо дар металл бо суръатҳои $\vartheta = 0,01c$ ($c = 3 \cdot 10^8$ м/с-суръати рӯшноӣ дар вакуум, чунончӣ, дар мис $\vartheta \approx 2 \cdot 10^6$ м/с) ҳаракат мекунамд. Аз ин рӯ электронҳои озодро дар металл чун гази идеалӣ ҷиҳдоштан начандон ба воқеият мувофиқ аст.

§2.8. Ҷараёни электрӣ дар моеъҳо

Ҳангоми аз ноқилҳои металлӣ гузаштани ҷараёни электрӣ, тавре ки зикр ёфт, ягон тағйироти кимиёвие рӯй наметабд. Вале дар мавриди аз маҳлулҳои намак, ишқор (асос), туршӣ (кислота), инчунин ғудохтаи намакҳо сар додани ҷараён баъзе равандҳои кимиёвӣ сурат мегиранд. Маҳлулҳои зикрфта *электролитҳо* (аз суханҳои юнонии электр ва lytos-таҷзия ё ба ҷузъҳо ҷудошавӣ) ном гирифтаанд ва онҳоро ба *ноқилҳои ҷинси дуҷум* мансуб медонанд (бар хилофи ноқилҳои ҷинси якҷум-ноқилҳои металлӣ), зеро ҳангоми гарм кардани электролитҳо ноқилияташон меафзояд, яъне муқовимати онҳо кам мешавад.

Барои ба тағйиротҳои кимиёвӣ дар электролитҳо шинос шудан равандҳои дар маҳлули обии намак, ишқор ва туршиҳо ба вуҷуд меомадаро баррасӣ менамоем. Дар ин навъ маҳлулҳо ҳанӯз ҷараён нагузашта бо таъсири майдони электрии молекулаҳои қутбнокӣ об (ин гуна молекулаҳо, тавре ки дар §1.4 хотиррасон намудем, чун диполи электрӣ қабул намудан равоаст) таҷзияи молекулаҳои электролитҳо ба вуҷуд меояд, ки *диссоциатсия электролитӣ* (аз юнонии dissociation - ҷаида ё ҷудошавӣ) ном дорад. Диссоциатсия ва дараҷаи он, яъне теъдоди молекулаҳо, ки дар моддаи маҳлулшуда ба ионҳо ҷудо гардидаанд, ба температура, консентратсияи маҳлул ва нуфузпазирии диэлектрии моеи маҳлулкунанда ϵ (дар об $\epsilon = 81$ буданаширо хотиррасон менамоем) инчунин хосиятҳои кимиёвии модда вобаста аст. Чунончӣ, ҳама туршиҳо дар маҳлули обӣ иони мусбати гидроген (H^+) - ро медиҳанд. Масалан туршии гӯгирд (H_2SO_4) мувофиқи муодилаи:



туршии намакин (HCl) бошад, ба тарзи:



диссоциатсия мешавад.

Барои асосҳо ташкилҳои гидроксил (OH^-) хос аст. Чунончӣ:



Дар ин муодилаҳо аломати $\leftarrow$ ҳодисаи баръакси диссоциатсия-рекомбинатсияи ионҳо-аз ионҳои мусбату манфӣ ташкил ёфтани молекулаҳои нейтралро мефаҳмонад (аз латинҳои ге-амали баръакс ва combinatio - пайваст шудан истилоҳи рекомбинатсия ҳосил гардидааст).

Агар ба зарфи электролитдошта (ваннаи электролитӣ) ду лавҳаи металлӣ, ки *электродҳо* (якero ба кутби мусбати манбаи чараёни доимӣ васл месозанду онро *анод*, дигарero ба кутби манфӣ он пайваст мекунанд ва *катод*) меноманд ғўтонда онҳоро ба манбаи чараёни доимӣ (расми 2.14) васл намоем, аз махлул чараёни электрӣ мегузарад (онро бо ёрии амперметри *A* қайд кардан мумкин аст): ионҳои мусбат сўии катоду ионҳои манфӣ чониби анод ба ҳаракати ботартибона медароянд. Пас, *поқилияти* электролитҳо *ионӣ* мебошад. Дар ин маврид гузаштани чараён пайваста бо интиколи модда сурат мегирад: ионҳои мусбат ба катод расида, камбудии электронҳояшонро пур мекунанд ва ба атом ё молекулаи нейтралӣ табдил меёбанду дар сатҳи катод менишинанд (дар кимия ин ҳодиса *реаксияи барқароршавӣ* ном гирифтааст). Айнан ҳамин тарз, ионҳои манфӣ электронҳои зиёдатиашонро ба анод медиҳанду дар натиҷа атом ё молекулаи нейтралӣ ҳосил мекунанд ва дар сатҳи он ҷойгир мешаванд (*реаксияи оксидшавӣ*). Ҳамин аст, ки дар электродҳо модда ҷудо мегардад. Ин ҳодиса *электролиз* (аз суханҳои юнонии *электр* ва *lysis* - таҷзия) ном дорад.

Қайд кардан бамаврид аст, ки А. Волта ханӯз с. 1800 электролизи намак, олимони англис Э. Карлейл (1768-1840) ва У. Николсон (1753-1815) обро электролиз карда, ба электрокимия асос гузошта буданд.

Олими англис М. Фарадей (1791-1867) ҳодисаи электролизро омӯхта, ба тарзи таҷрибавӣ (1833-1834) муқаррар кард, ки массаи ҳар гуна моддаи ҳангоми электролиз дар электрод ҷудошуда ба микдори заряде, ки аз электролит мегузарад, мутаносиби роста аст:

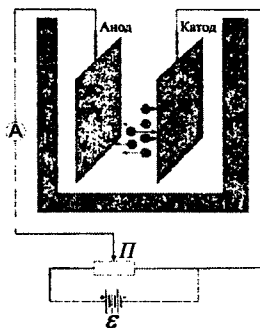
$$m = kQ. \quad (2.58)$$

Дар ин формула, ки чун *қонуни якуми Фарадей оид ба электролиз* маъмул мебошад, *k*-коэффитсиенти мутаносибӣ буда, *эквивалентии электрокимиявӣ* модда ном дорад. Он ададан ба массаи моддае баробар аст, ки ҳангоми аз электролит гузаштани заряди $q = 1$ Кл дар электрод ҷудо мешавад ва дар СИ бо кг/Кл - хо ифода меёбад. Эквивалентии электрокимиявӣ ба ҳар як модда ҳосса аст. Чунончӣ, барои нуқра- $k = 1,18 \cdot 10^{-6} \text{ кг/Кл}$, мис- $k = 0,3294 \cdot 10^{-6} \text{ кг/Кл}$, гидроген- $k = 0,1045 \cdot 10^{-6} \text{ кг/Кл}$, оксиген- $k = 0,08293 \cdot 10^{-6} \text{ кг/Кл}$ буданаширо ба тарзи таҷрибавӣ муқаррар кардаанд.

Агар ба эътибор гирем, ки барои чараёни доимӣ $q = It$ (*I*-қувваи чараён, *t*-тӯли вақти аз махлул гузаштани ин чараён) мебошад, формулаи (2.58)-ро ба намуди:

$$m = kIt \quad (2.59)$$

пешниҳод карда метавонем.



Расми 2.14

Фарадей инчунин кашф кард, ки эквиваленти электрохимиявӣ модда ба массаи моляр (M) ва валентнокии модда (Z) вобаста аст:

$$k = C \frac{M}{Z}. \quad (2.60)$$

Дар ин ҷо C -коэффитсиенти мутаносибӣ буда, бузургии баръакси он $F = 1/C$ -адади Фарадей ном дорад. Ифодаи:

$$X = \frac{M}{Z} \quad (2.61)$$

эквиваленти химиявӣ модда ёд мешавад. Аз ин рӯ нисбати эквиваленти химиявӣ барои ҳама моддаҳо ҳамон як кимат дорад:

$$\frac{k}{X} = \frac{k_1}{X_1} = \frac{k_2}{X_2} = \dots = \text{const} = \frac{1}{F}. \quad (2.62)$$

Ифодаи (2.62) чун қонуни дууми Фарадей оид ба электролиз маъмул аст ва дар он F -адади Фарадей ном гирифтааст. Ҳар ду қонуни электролизро муттаҳид кардан душвор нест:

$$m = \frac{M}{ZF} q = \frac{M}{nF} It. \quad (2.63)$$

Аз ин рӯ, агар q -миқдори заряде бошад, ки ҳангоми аз маҳлул гузаштани он массаи дар электрод ҷудошудаи моддаи яквалентӣ ($Z=1$) ба массаи молярии ин модда баробар гардад, $q=F$ буданашро муқаррар менамоем. Ҳамин тариқ, адади Фарадей миқдори зарядеро муайян мекунад, ки ҳангоми аз маҳлул гузаштани он дар электрод як мол модда ҷудо мешавад. Таҷрибаҳо нишон доданд, ки:

$$F = 96484,5 \frac{\text{Кл}}{\text{мол}} \approx 96500 \frac{\text{Кл}}{\text{мол}} \quad (2.64)$$

мебошад.

Назарияи электронӣ имкон медиҳад, ки қонунҳои ба тарзи таҷрибавӣ кашфкардаи электролиз шарҳ дода шаванд. Дарвоқеъ, массаи моддаи дар электрод ҷудогардида ба ҳосили зарби массаи ҳар як ион m_0 ва теъдоди ионҳо N_i , ки дар тӯли вақти гузаштани ҷараён t ба электрод омада мерасанд:

$$m = N_i m_0 \quad (2.65)$$

ва массаи ион бошад, ба

$$m_0 = \frac{M}{N_A} \quad (2.66)$$

баробар аст ($N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ мол}^{-1}$ - дойимии Авогадро). Аз тарафи дигар, теъдоди ионҳои ба электрод омадарасида:

$$N_i = \frac{q}{q_0}, \quad (2.67)$$

ки дар он q -миқдори заряди дар тӯли вақти t аз электролит гузаштаву $q_0 = ne$ заряди ион (e -заряди элементарӣ ё бунёди) мебошад.

Ҳангоми диссоциатсияи молекулаҳои аз атомҳои эквалентӣ иборатбуда ($n=1$) ионҳои якзарядӣ ташкил меёбанд. Масалан, дар мавриди диссоциатсияи молекулаҳои намаки ошӣ (NaCl) ионҳои Na^+ ва Cl^- , диссоциатсияи молекулаҳои даҳани фаранг (CuSO_4) боиси ба вучуд омадани ионҳои дузарядии Cu^{++} ва SO_4^{--} мегарданд ($n=2$).

Ба формулаи (2.56) ифодаҳои (2.66) ва (2.67)-ро гузошта ба эътибор мегирем, ки $q = It$, $q_0 = Ze$ мебошад, аз ин рӯ таносуби зеринро ҳосил мекунем:

$$m = \frac{M}{ZeN_A} It. \quad (2.68)$$

Пас, эквиваленти электрохимии:

$$k = \frac{1}{eN_A} \frac{M}{n} \quad (2.69)$$

ва адади Фарадей:

$$F = N_A e \quad (2.70)$$

буданаш маълум мегардад. Дар асоси электролиз бузургии заряди элементарӣ e -ро ёфтан имконпазир аст:

$$e = \frac{F}{N_A} = \frac{M}{mZN_A} It. \quad (2.71)$$

Бояд хотиррасон кард, ки олими ирландӣ С.Ҷ. Стоней (1826-1911) аввалин шуда с. 1874 гоҳи қимати дискретӣ (аз сухани латинии *discretus*-алоҳида, иборат аз қисмҳои алоҳида) доштани миқдори электро (на зарро!) пайхаст намуда (с. 1881), барои заряди элементарӣ истилоҳи «электрон» - ро пешниҳод карда буд (с. 1891).

Ҳамин тарик, чараёни электрӣ дар электролитҳо аз ҳаракати муқобилсамти ионҳои мусбату манфӣ иборат мебошад. Вале бояд қайд кард, ки ҳар як ионро молекулаҳои об (маҳлулгардонанда) мепӯшонанд ва ба ном қабати гидратиро ташкил медиҳанд. Қабати гидратӣ рекомбинатсияи ионхоро мушқил мегардонаду ҳаракати ионхоро суст мекунад. Пас, амалан дар маҳлул на ион, балки курачаи аз иону қабати гидратии гирди онро печонида (мухтасар *солват*-аз сухани латинии *solvere* -маҳлул кардан) мекӯчад. Ба ин гуна солват қувваҳои соиши дохилӣ, ки бузургнашонро ба суръати солват мутаносиб доништан равост ($F_c = -r\vartheta$, r - коэффитсиенти мутаносибист) ва дар майдони электрӣ қувваи $F_e = qE$ низ таъсир мекунанд. Дар мавриди ба мувозинат омадани ин қувваҳо солват ба ҳаракати мунтазам медарояду дар натиҷа аз электролит чараёни

доймӣ мегузарад. Пас, дар ин маврид суръати ҳаракати солватҳо ба шадидияти майдони электрӣ мутаносиб мебошад:

$$j = bE. \quad (2.72)$$

Коеффициенти мутаносибӣ b ҳаракатмандии ион ном гирифтааст. Ҳаракатмандӣ бо суръате муайян карда мешавад, ки ион дар майдони электрии шадидияташ $1В/м$ ба он доро мегардад. Ҳамин аст, ки

ҳаракатмандӣ дар СИ бо $\frac{m^2}{c \cdot B}$ ифода меёбад. Ҳаракатмандии ионҳои гуногун фарқ доранд. Дар ҷадвал ҳаракатмандии ионҳои баъзе моддаҳо оварда шудаанд, ки онҳоро тавассути таҷриба муайян кардаанд.

Ҷадвали 5. Ҳаракатмандии баъзе ионҳо

Ион	$b, m^2/(c \cdot B)$	Ион	$b, m^2/(c \cdot B)$
H^+	$3,263 \cdot 10^{-7}$	OH^-	$1,802 \cdot 10^{-7}$
K^+	$0,669 \cdot 10^{-7}$	Cl^-	$0,677 \cdot 10^{-7}$
Na^+	$0,440 \cdot 10^{-7}$	NO_3^-	$0,639 \cdot 10^{-7}$

Зичии ҷараёни электрӣ дар электролит:

$$j = q_+ n_+ v_+ + q_- n_- v_- = q n \alpha (v_+ + v_-) E = \gamma E \quad (2.73)$$

мебошад. Аз ин рӯ ноқилияти ҳосил электролитҳоро чун

$$\gamma = q n \alpha (b_+ + b_-) \quad (2.74)$$

пешниҳод кардан раво аст, зеро ионҳо ҷуфт-ҷуфт ҳосил мешаванду $q_+ n_+ = q_- n_- = q n \alpha$ аст (α - коеффициенти диссоциатсия мебошад). Пас, ифодаи (2.73)-ро чун *муодилаи қонуни Ом барои электролитҳо* (дар шакли дифференсиалӣ) маънидод карда метавонем.

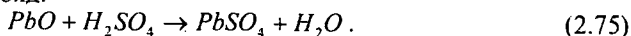
Ақнун баъзе татбиқҳои техникии электролизро хотиррасон менамоем.

Металли дар соҳаҳои гуногуни техника, хусусан авиатсия васеъ истифодашаванда-алюминийро маҳз тавассути электролиз истеҳсол мекунад: аз боксит (ҳамчун ашёи хом) обро бадар андохта, Al_2O_3 (гилҳок) ба даст мебароранд ба он криолит Na_2AlF_6 (барои паст фурувардани температураи ғудозиши гилҳок) омехта, сипас гилҳокро бо ёрии ҷараёни қуввааш дахҳо килоампер мегудозанд (температура дар ин омехта то $900^\circ C$ расонда мешавад). Ин ғудохта чун электролит хизмат мекунад (ҳамин аст, ки заводҳои алюминиро, заводи алюминии тоҷик дар шаҳри Турсунзода яке аз онҳост, дар шафати электростансияҳои пуриктидор месозанд, масалан, НБО (ГЭС)-и Норақ, ки заводи алюминийи ш. Турсунзода ро бо энергияи электрӣ таъмин менамояд, дорои иқтидори анқариб $3 ГВт$ буданаширо хотиррасон мекунем).

Дар саноат металлҳоро бо ёрии электролиз тоза мекунад. Ин раванд *рафинатсия* (аз фаронсавии *raffiner*-тоза кардан) ном гирифтааст: металли дорои унсурҳои бегона (ғашҳо)-ро ба сифати анод истифода карда, онро ба маҳлули ягон намаки ин металл ё ғудохтааш мегӯтонанд ва чун катод (одатан графит) гирифта

мешавад. Дар натиҷа металли тоза ба руйи графит менишинаду омехтаҳои ғайр дар маҳлул таҳшин мегарданд.

Амали аккумуляторҳо, ки вазифаи онҳо анқариб ба ҳама маълум мебошад, ба ҳодисаи электролиз асос ёфтааст. Ҳангоми тайёр кардани аккумуляторҳои техникӣ ба куттии панҷараи сурбӣ ҳамираи аз PbO -окиси сурб омодасохта мемоланд. Дуто аз ин гуна лавҳаҳо ро ба маҳлули туршии сулфат (H_2SO_4) мегўтонанд. Дар натиҷа реаксияи зерин ба вуҷуд меояд:



Агар ба ин гуна лавҳаҳои ба маҳлул гўтонидашуда фарқи потенциалҳои доимӣ (аз манбаи беруна) васл намоем (ин амал заряднок кардани аккумуляторҳо ном дорад), электролиз сурат мегираду дар анод оксиген, дар катод гидроген хориҷ мегардад. Дар натиҷа сурб ба перексид (диоксид)-и сурб табдил меёбад. Ҳамин аст, ки электродҳо гуногунчунинса шудаву дар байни онҳо фарқи потенциалҳои анқариб 2 В ба вуҷуд меояд ва ҳангоми ба истеъмоли энергия васл кардани онҳо ҷараёни безарядшавӣ сурат мегираду сурб бо туршии сулфат ба реаксия даромада, сулфиди сурбро ташкил менамояд.

Бо усули электролитӣ сатҳи як металл бо қабати тунуки металли дигар асосан бо мақсади аз зангзанӣ (коррозия) эмин доштан пўшонда мешавад: никеландудан, хромандудан, нукрапўш кардан мисолҳои ин гуна раванд мебошанд. Барои ин металли пўшонанда чун анод, маснуоти рўйпўшшаванда ба сифати катод хизмат мекунанд.

Дар саноати полиграфӣ барои чопи барҷаста лавҳаи дар рўйи харфҳо ҷидашуда (қолаби чопӣ-клише), инчунин муссаваҳо ро бо қабати ғафси металлӣ (охан, рух, сурб, алюминий) мепўшонанд, ки бо зудӣ кўчонда мешаванд. Ин усул *галванопластика* (аз номи олими номбурдаи италийӣ Л. Галвани ва юнонии plastik ё-ғачқорӣ, ҳайкалтарошӣ, ки бо ҷараёни элементҳои галванӣ алоқаманд буданаҳо нишон медиҳад) ном гирифтааст. Ғайр аз ин, тавассути усули электролитӣ бо қабати одатан металлӣ, масалан биринҷӣ (хўлаи мис бо қалъагӣ ва металлҳои дигар-сурб, алюминий) сир давондани ҳайкалҳо, нимпайкарҳо, ки онҳо ро аввало аз ғач ё оҳану бетон тайёр мекунанду сипас барои гузаштани ҷараён бо графит мепўшонанд. Ин усул *галваностегия* (аз юнони stegē-андудан) ном дорад.

Масъалаи 2.8. Ҳангоми бо тарзи электролитӣ истеҳсол кардани алюминий ваннаҳои истифода мешаванд, ки таҳти шиддати $U=5$ В амал мекунанд. Агар аз ванна ҷараёни қуввааш $I=60$ кА сард дода шавад, барои истеҳсоли $m=1$ т алюминий чанд вақт лозим аст ва сарфи энергияи электрӣ дар ин раванд чӣ қадар мебошад?

Маълумот:

$$U = 5 \text{ В}$$

$$I = 60 \text{ кА} = 6 \cdot 10^4 \text{ А}$$

$$m = 1 \text{ т} = 10^3 \text{ кг}$$

$$k = 0,093 \cdot 10^{-6} \text{ кг/Кл}$$

$$t = ? \quad W = ?$$

Ҳал

Мувофиқи қонуни якуми
электролиз:

$$m = kIt$$

аст. Аз ин рӯ:

$$t = \frac{m}{kI} = \frac{10^3 \text{ кг}}{0,093 \cdot 10^{-6} \text{ кг/Кл} \cdot 6 \cdot 10^4 \text{ А}} = 1,8 \cdot 10^5 \text{ с} = 2,1 \text{ шабонарӯз}$$

Энергияе, ки дар ин истехсолот
сарф мешавад:

$$W = IUt = 6 \cdot 10^4 \cdot 5 \cdot 1,8 \cdot 10^5 \text{ Ҷ} = 54 \cdot 10^9 \text{ Ҷ} = 15 \text{ МВт-соат}$$

аст.

Ҷавоб: $t = 2,1$ шабонарӯз; $W = 15$ МВт-соат.

Маълумот 2.9. Чузӣи мошинро бо қабати хроми гафсиаш 50 мкм
бояд пӯшонд. Агар барои ин сирдавонӣ меъёри зичии ҷараён 2 кА/м²
бошад, аз ванна чанд вақт ҷараён сар додан лозим аст?

Ҳал

Мувофиқи қонуни якуми
электролиз:

$$m = kIt$$

мебошад. Массаро ба воситаи
зичӣ (D) ифода мекунем:
 $m = DV$, ки дар ин ҷо V -ҳаҷми
қабати хромиш аст.

Маълумот:

$$h = 50 \text{ мкм} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

$$k = 0,18 \cdot 10^{-6} \text{ кг/Кл}$$

$$D = 7,2 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$$

$$j = 2 \text{ кА/м}^2 = 2 \cdot 10^3 \text{ А/м}^2$$

$$t = ?$$

Агар ба эътибор гирем, ки ин ҳаҷм:

$$V = Sh$$

(S - масоҳати чузӣи мошин) мебошад, ифодан зерин ҳосил мешавад:

$$DSh = kIt$$

Аз ин рӯ:

$$t = \frac{DSh}{kI} = \frac{Dh}{kj} = \frac{7,2 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 \cdot 5 \cdot 10^{-5} \text{ м}}{0,18 \cdot 10^{-6} \text{ кг/Кл} \cdot 2 \cdot 10^3 \text{ А/м}^2} = 1000 \text{ с} \approx 16,7 \text{ дақ.}$$

мебошад.

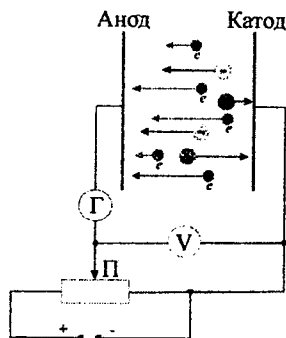
Ҷавоб: $t = 1000 \text{ с} \approx 16,7 \text{ дақ.}$

§2.9. Ҷараёни электрӣ дар газҳо

Газҳо дар шароити муқаррарӣ ҷараёни электро
намегузаронанд. Ин ҳол чунин шарҳ меёбад: атому молекулаҳои газ
нейтралланду дар он зарраҳои озоди заряднок - ҳимилони ҷараён
амалан вучуд надоранд. Вале бо таъсири беруна нокилӣи газҳоро

ба вучуд овардан мумкин аст. Чунончӣ, агар рӯяҳои конденсатори ҳамвори диэлектрикаш хаворо ба манбаии ҷараёни дойимӣ ҳатто тавассути галванометри ҳасос васл созем ҳам (расми 2.15), он гузаштани ҷараёно нишон намедихад.

Вале дар мавриди фазои байни рӯяҳо (онҳо акнун аноду катод мебошанд) ворид сохтани шӯълаи шамъ галванометр гузаштани ҷараёно кайд менамояд. Аз ҳисоби гармии шӯъла атому молекулаҳои газ дорои энергияи зиёди кинетикӣ гардида, ҳангоми бархӯрдҳои ҳамдигарӣ электронҳои бо ядроҳо суст алоқаманд аз таъсири онҳо мебароянду чун электронҳои озод рафтор мекунанд. Дар натиҷа атом ё молекула ба иони мусбат табдил меёбад. Баъзе атому молекулаҳо ин гуна электронҳоро «забт» мекунанду боиси ба вучуд омадани ионҳои манфӣ мешаванд. Ин ҳодиса *ионизатсия* (ионофарӣ) ном гирифтааст. Яъне шӯълаи шамъро чун манбаии ионофар шуморидан равоаст. Шӯъҳои радиоактивӣ (α -, β -, ва γ -зарраҳо), шӯъҳои рентгенӣ ва ультрабунафш низ қобилияти хуби ионофарӣ доранд, ҳамин аст, ки онҳоро *афқонишоти ионофар* меноманд.



Расми 2.15

Бо таъсири майдони электрии байни рӯяҳои конденсатор ионҳои манфӣ ва электронҳои озод сӯи анод, ионҳои мусбат ҷониби катод ба ҳаракати бонизом медароянд (истилоҳи ион аз сухани юнонии *ión*- ҳаракатманд омадааст). Дар натиҷа галванометр гузаштани ҷараёно нишон медиҳад. Аз ин рӯ ҷараёни электрӣ дар газҳо аз ҳаракати нигаронидаи ионҳои мусбату манфӣ инчунин электронҳои озод иборат мебошад. Ҳодисаи аз газҳо гузаштани ҷараёни электрӣ *тахлия* (аз арабии ҳалос шудан, ба лафзи русӣ разряд-аз заряди электрӣ ҳалосӣ ёфтан) ном гирифтааст, зеро ионҳои манфӣ ба анод расида, электронҳои забткардаашонро ба он медиҳанду безаряд, яъне ба атом ё молекулаи нейтралӣ табдил меёбанд. Ионҳои мусбат ба катод наздик омада, камбудии электронҳояшонро пур мекунанду низ ба атом ё молекулаи нейтралӣ мубаддал мешаванд. Ин гуна тахлия дар ҳаҷми калон ҳангоми барқзанӣ рӯй медиҳад. Яъне, барқ ҳодисаи соф атмосферист: абрҳо дар натиҷаи гарму сардшавии кабатҳои гуногуни ҳаво таҳти фишор ба ҳаракат мебароянд ва тавассути сойиши ҳамдигарӣ то дараҷаи баланд заряднок мешаванд (миқдори заряди онҳо то 200 Кл мерасад).

Хамин аст. ки хангоми барқзанӣ шиддати байни абрҳо инчунин абрҳою замин то $10^9 В$ мерасаду ба рафти каналҳои муқовиматашон бо ин ё он сабаб камшуда аз хаво ҷараёнҳои қувваашон то $10^6 А$ мегузаранд. Яъне иқтидоре, ки хангоми ҳар як барқзанӣ вусъат меёбад ($10^{14} \div 10^{15} Вм$) назар ба иқтидори НБО-и Норақ ($3 \cdot 10^9 Вm$) миллионҳо маротиба зиёд аст. Дар натиҷа ба рафти каналҳо афрузиш ва гулдурӯси ба ҳама шинос-раёд ба вучуд меояд.

Барои тадқиқи хусусиятҳои ҷараёни электрӣ дар газҳо, яъне таҳлилии газӣ схемаи занҷире, ки дар расми 2.15 тасвир ёфтааст, мусоид мебошад.

Пеш аз ҳама хотирнишон сохтан ҷоиш аст, ки энергияи камтарини барои ионизатсияи атому молекулаҳо заруриро энергияи ионизатсия (W_i) меноманд. Энергияи ионизатсияро одатан бо электрон - вольтҳо ифода мекунанд ($1 эВ = 1,6 \cdot 10^{-19} Ҷ$ аст). Энергияи ионизатсияи атому молекулаҳои моддаҳои гуногун фарқ доранд. Масалан, энергияи ионизатсияи атоми гидроген $13,6 эВ$ буданаш муқаррар карда шудааст. Ин атом аз ядро ва якто электрон таркиб ёфтааст ва барои он электронро аз таъсири ядро баровардан мувофиқи қонуни бақои энергияи газии гидрогениро ба дараҷаси тафсондан мебарояд, ки бо баробарии зерин муайян карда мешавад:

$$\frac{3}{2} kT = W_i = 13,6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} Ҷ$$

(дар ин ҷо $k = 1,38 \cdot 10^{-23} Ҷ/К$ -дойимии Болсман аст). Аз ин рӯ

$$T \approx 10^5 К$$

буданаш маълум мегардад.

Дар ҳақиқат энергияи ионизатсияи атому молекулаҳои баъзе моддаҳои теоретикӣ, ки тавассути таҷрибаҳои муқаррар карда шудаанд.

Ҷадвали 6. Энергияи ионизатсияи баъзе моддаҳо

Модда	Na	Hg	Ce	O	CO ₂	H	N	Ne	He
$W_i, эВ$	5,12	10,4	11,3	12,15	14,4	15,4	15,8	21,48	24,45

Фарз мекунем, ки *интенсивияти ионизатор*, яъне теъдоди ҷуфти ионҳои, ки дар воҳиди ҳаҷми газ дар воҳиди вақт тавлид меёбанд, бетағйир мемонанд. Ҷоиш аст хотиррасон намоем, ки ионизатсия бо ҳодисаи баръакс – рекомбинатсия-тавлид ёфтани атому молекулаҳои нейтралӣ низ ҷӯр мешавад. Ақнун бо ёрии потенциометри Π (расми 2.15) шиддати байни аноду катодно тағйир дода (бузургии ин шиддатро тавассути вольтметр қайд кардан мумкин аст), *тавсифоти вольт-амперии таҳлиӣ*, яъне вобастагии қувваи ҷараёни аз газ гузаранда ба шиддатро баррасӣ менамоем. Ин тавсифот ба тарзи графикӣ дар расми 2.16 пешниҳод шудааст: ба қадри баланд шудани шиддат қувваи ҷараён тадриҷан, аввало ҳаттӣ (қитъаи OA) меафзояд, яъне мувофиқи қонуни Ом тағйир меёбад. Ин гуна вобастагиро ҷун дар электролитҳо ба намуни:

$$j = ne(b_+ + b_-)E \quad (2.76)$$

пешниҳод кардан мумкин аст. Дар ин ҷо n -теъдоди ҷуфти ионҳои, ки дар воҳиди ҳаҷм дар воҳиди вақт ионизатор ба вучуд

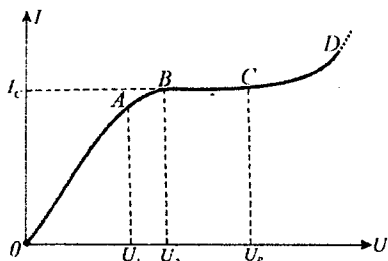
меорад, b_+ , b_- ҳаракатмандии ионҳои мусбату манфӣ ва электронҳо. $E=U/d$ -шадидияти майдони байни электродҳо (U -шиддати байни онҳо, d -масофаи байни электродҳо) мебошад.

Дар китъаи AB рекомбинатсияи ионҳо ҳале кам шуда меравад, ҳарчанд дар китъаи OA он назаррас буд. Сипас, дар китъаи BC қувваи ҷараён дигар ба шиддат вобаста нест: тамоми ҷуфти ионҳои, ки ионизатор ба вуҷуд меорад, бидуни рекомбинатсия ба электродҳо омада мерасанд. Қувваи ҷараёни ба ин китъа мувофиқро *ҷараёни серишуда* меноманд.

Зичии ҷараёни серишударо чун:

$$j_c = \frac{ned}{t} \quad (2.77)$$

пешниҳод кардан мумкин аст, ки дар он d -масофаи байни электродҳо мебошад.



Расми 2.16

Баъди шиддат аз кимати U_p , ки *шиддати раҳнаві* ном гирифтааст, гузаштан қувваи ҷараён якбора афзуда меравад. Тахлияе, ки то кимати U_p сурат мегирад, *тахлияи номустақил* дониста мешавад, зеро баробари қатъ ёфтани амали ионизатор ин тахлия хомӯш мегардад. Барои дар киматҳои аз U_p -и шиддат баландтар якбора афзудани қувваи ҷараён ду омил нақши асосӣ мебозанд: 1) электронҳои озод дар майдони электрии пурқувват қадре шитоб мегиранд, ки дорои энергияи кинетикии барои ионизатсияи атому молекулаҳои газ кофӣ мешаванд ва дар натиҷа теъдоди зиёди ҷуфти ионҳои мусбату манфӣ тавлид меёбанду ҳатто баъди хотима ёфтани амали ионизатор аз ғаз ҷараёни зиёд гузаштан мегирад. 2) электронҳои, ки аз катод бо зарбаи ионҳои мусбат қанда бароварда мешаванд. Дар ин маврид *тахлия мустақил* номида мешавад, зеро аз ҳисоби афканишоти радиоактивии кишри замин, инчунин бо таъсири шуъоҳои кайҳонӣ дар газ ионҳои мусбату манфӣ тавлид меёбанд, ки боиси бе ионизатор сурат гирифтани тахлия мегарданд.

Тавре ки тадқиқотҳо нишон медиҳанд, кимати раҳнавии шиддат ба табиати кимиёвии газ ва фишори он вобаста аст. Чунончи, дар ҳаво ҳангоми фишори нормалӣ кимати шадидияте, ки ба раҳнашавии он меорад, анқариб 3 MB/м мебошад.

Масъалан 2.10. Барои ионизатсия кардани гази гелий, ки энергияи ионизатсияи атомҳояш $W_i = 24,45 \text{ эВ}$ аст, ҳангоми

ионизатсияи зарбатӣ электрон бояд дорои кадом суръати камтарин бошад?

Ҳал

Маълумот:

$$W_i = 24,45 \text{ эВ} = 39,12 \cdot 10^{-19} \text{ Ҷ}$$

$$m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

$$g_{\max} = ?$$

Мувофиқи қонуни бақои энергия энергияи камтарини кинетикии электрон бояд ба энергияи ионизатсияи атом-ҳои гелий баробар гардад:

$$W_{k\min} = W_i$$

ё худ

$$\frac{m g_{\min}^2}{2} = W_i$$

Аз ин ҷо

$$g_{\min} = \sqrt{\frac{2W_i}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 39,12 \cdot 10^{-19} \text{ Ҷ} \cdot \text{м}}{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}}} \approx 2,9 \cdot 10^6 \text{ м/с}.$$

$$\text{Ҷавоб: } g_{\min} \approx 2,9 \cdot 10^6 \text{ м/с}$$

Масъалаи 2.11. Агар фосилаи электродҳои конденсатор $d=5 \text{ см}$ бошад, ҳангоми зичии ҷараёни сершуда $j_c=32 \text{ мкА/м}^2$ будан ионизатор дар 1 м^3 - и фазои байни электродҳо дар 1 с чанд чуфт ион тавлид менамояд?

Маълумот:

$$d = 5 \text{ см} = 5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$j_c = 32 \text{ мкА/м}^2 = 32 \cdot 10^{-6} \text{ А/м}^2$$

$$\frac{n}{t} = ?$$

Ҳал

Мувофиқи таърифи қувваи ҷараёни сершударо бо формулаи:

$$I_c = \frac{Ne}{t}$$

муайян кардан мумкин аст, ки дар ин ҷо N - теъдоди чуфти ионҳое, ки ионизатор дар тӯли вақти t дар фазои байни электродҳо тавлид менамояд. Азбаски

$$N = nV = nSd,$$

n - теъдоди чуфти ионҳое, ки ионизатор дар воҳиди ҳаҷм ба вучуд меорад, S - масоҳати ҳар як рӯя, d - фосилаи байни рӯяҳо:

$$I_c = \frac{neSd}{t}$$

аст ва аз ин рӯ

$$\frac{n}{t} = \frac{j_c}{ed} = \frac{32 \cdot 10^{-6} \text{ А/м}^2}{5 \cdot 10^{-2} \text{ м} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}} = 4 \cdot 10^{15} \frac{1}{\text{м}^3 \text{с}}$$

буданаш маълум мегардад.

$$\text{Чавоб: } \frac{n}{t} = 4 \cdot 10^{15} \frac{1}{\text{м}^3 \text{с}}.$$

Акнун бо баъзе навъҳои тахлияи мустиқҳои газҳо, ки аҳамияти муҳими амалӣ доранд, шинос мешавем.

1) Тахлияи тоҷӣ. Дар майдони ғайриякҷинсаи электрӣ, хусусан дар фазои атарофи электродҳои қачиашон зиёд, масалан нокилҳои нӯғтез ҳангоми афзудани шиддат то қиматҳои раҳнавии он (шадидияти майдон анқариб 30 кВ/см будан) аввало дар назди нокили нӯғтез, сипас электроди ҳамвор тахлияе сурат мегирад, ки дар натиҷа нурафканин тоҷшакл мушоҳида мешавад ва номи ин навъ тахлия аз ҳамин ҷост.

Бояд хотирнишон сохт, ки ҳар гуна нурафканин ҳангоми тахлияи газӣ бо ионизатсияи зарбатӣ ва рекомбинатсияи ионҳо алоқаманд аст.

Тахлияи тоҷӣ одатан дар атрофи симҳои баландшиддат сурат гирифта, ба талафоти энергияи интиқолишаванда меоварад. Ҳамзамон тахлияи тоҷӣ барои ҳосил кардани ионҳо дар филтр (полоишидиҳандагон)-и газҳои саноатӣ, ҳавои ҷанголд, масалан заводҳои семент истифода мешавад. Зарраҳои ин гуна газҳо тавассути қубурҳои лӯлашакл, ки дар меҳварашон нокили борики тахлияи тоҷӣ барангезанда ҷойгиранд, боло мебароянду дучори майдони электрии бо ионҳо пур мегарданд ва ба онҳо ҳасида зарядноку бо таъсири майдон ба деворҳои қубур наздик меоянд ва дар онҳо таҳшину бо ёрии дасгоҳҳои пневматикӣ ҷамъ оварда мешаванд.

2) Тахлияи шароравӣ. Қамони электрӣ. Ба қадри афзудани шиддати байни электродҳои дар ҳаво ҷойгирбуда, ҳангоми шадидияти 30 кВ/см мавзёе, ки тавассути зарбаҳои электронҳои ионҳои бо таъсири афканишоти радиоактивии кишри замин, шуоҳои қайҳонӣ ионизатсия ҳосил мешаванд, васеъ гардида, фазои байни электродҳоро бо қаналҳои борики равшани пур аз ионҳо ҷун нокили қувваи ҷараёнаш бо зудӣ афзоянда мепаиванданд. Фосилаи газӣ байни электродҳо раҳна мешавад-шарора мебарад. Номи шароравӣ гирифтани ин навъ тахлия аз ҳамин ҷост.

Тармаҳои электронию ионӣ дар қаналҳои шароравӣ боиси баланд шудани дараҷаи ҳарорат, яъне температура то даҳҳо ҳазор градус ва афзудани фишор то садҳо атмосфера меоварад. Ҳамин аст, ки ҳангоми паридани шарора садои қасар-қусур-тарқишҳои хурд-хурди қандашаванда рӯй медиҳад. Оид ба тахлияи шароравии табиӣ дар ҳаҷми қалон воқеъшаванда-барқ пештар маълумоти муҳтасар дода будем.

Азбаски шарора электродҳоро ҷун нокилҳо мепаивандад, дар натиҷа фарқи потенциалҳои онҳо якбора қам мешавад, тахлия қатъ меёбад. Сипас аз нав фарқи потенциалҳо барқарор мегардаду раҳнашавии нави газ сар мезанад.

Агар баъди сар задани шарора электродҳоро ба ҳам наздик оварем, тахлия бефосила мешавад. Ҳангоми иқтидори қофӣ доштани манбаи ҷараён ва тафсидани қатод то температурае, ки аз қатод

теъдоди зиёди электронҳо канда шуда мебароянд (ин ҳодиса *эмиссия термоэлектронӣ* ном гирифтааст) тахлияи шароравӣ ба *камони электрӣ* табдил меёбад, нурафшони камоншакл мушоҳида мегардад. Нурафшонӣ аз он сабаб камоншакл мешавад, ки ҳавои тафсон ба туфайли конвексия ба боло мебарояд.

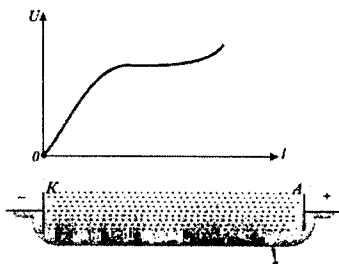
Тахлияи камониро тавассути манбаъҳои шиддаташон нисбатан паст низ ҳосил кардан мумкин аст. Барои ин, масалан, электродҳои ангиштиро ба ҳам мерасонанд. Онҳо дар натиҷаи гузаштани ҷараён то дараҷаи баланд метафсад. Сипас электродҳоро кадре дур андохта камони электрӣ ҳосил мекунанд. Аз катода тафсида сели электронҳо барои анодро зарраборон мекунанд, дар натиҷа он то дараҷаи хеле баланд ($\approx 4000\text{ K}$) метафсад.

Камони электрӣ барои кафшеру буридани металлҳо, истеҳсоли пӯлодҳои баландсифат (дар кӯраҳои камонӣ), ба сифати манбаъҳои хуби рӯшноидихӣ (прожекторҳо, аппаратҳои проексионӣ) татбиқи васеъ ёфтааст. Камони электрии дар бугҳои симобӣ рӯйдиханда ҳамчун манбаи пурзӯри афканишоти ултрабунафш (ба ном *ҷароғҳои квартсӣ*) дар тиб васеъ истифода мешавад. Камони электрии симобии фишораи хеле баландро дар таҳлили спектри ҳамчун манбаи рӯшноӣ корбаст менамоянд.

3) Тахлияи лаҳҷавӣ. Ин навъ тахлияи ҳангоми фишорҳои паст ба вучуд меояд. Агар андаруни найчаи шишагини дарозии 30-50 см ду электрод (катода K ва анода A , расми 2.17) ҷойгир карда, бо ёрии ҳавокаш фишорро паст фурувардан гирем, дарозии миёнаи роҳи озоди иону электронҳо $\langle l \rangle$ калон мешаваду дар натиҷа онҳо ҳангоми шадидиятҳои кам мувофиқи қонуни бақои энергия:

$$A = qE \langle l \rangle = W_k = W_i \quad (2.78)$$

дорони энергияи кинетикии барои ионизатсияи зарбатӣ кофӣ мегарданд. Дар фишорҳои 2-4 мм сут. сим. ва фарқи потенциалҳои якчанд сад вольт аввало электродҳо гӯё бо шнурҳои борикӣ алвонҷӯрандаи равшан васл мешаванду сипас тамоми фазои байни онҳоро тахлияи нурафшон гӯё бе аланга сӯзанда фаро мегирад.



Расми 2.17

Ҳамин аст, ки ин навъ тахлияи лаҳҷавӣ ном дорад. Тадқиқотҳо нишон доданд, ки дар назди катод афтиши якбораи шиддат ба вучуд меояд (расми 2.17), зеро дар фазои назди катод (онро *торикии катодӣ* меноманд) электронҳо бо сабаби хурд будани массаашон тезтар шитоб гирифта, дар роҳи ҳаракати худ миқдори зиёди ионҳои

мусбатро ташкил медиҳанд (сутуни мусбати наздианодӣ) ва сӯйи анод мекӯчанд. Ҳарчанд ҳангоми тахлияи лахчавӣ катод сард мемонад, барои сар задани тахлия катодно зарраборон кардани ионҳои мусбат ва аз он зада баровардани як микдор электронҳо нақши босазо дорад. Ҳамин аст, ки катодно бо моддаҳои кори бароварди электронашон кам (оид ба кори бароварди электронҳо дар §2.10, маълумот оварда мешавад), масалан барий ё тсезий пӯшонда, бо интиҳоби газе, ки бо он найчаро пур мекунанд, тахлияи лахчавиро дар шиддати хеле паст, ҳатто бо шиддати шабакаи шахрӣ ба вучуд овардан мумкин аст. Аз ҷама муҳимаи ранги тахлия ба таркиби газ вобаста мебошад. Масалан, неон бо ранги сурху норинҷӣ, ксенон-ранги зард, аргон-ранги сабзи кабутҷатоб ва ғайра нурафшонӣ мекунанд. Ҳамин аст, ки тахлияи лахчавӣ дар лампаҳои рекламавӣ, инчунин ба ном *чароғҳои рӯз* истифода мешавад. Дар чароғҳои рӯз тахлия дар бугҳои симоб пайваста бо афканишоти ултрабунафш сурат мегирад. Андари ни гуна найчаҳо бо интиҳоби таркиби махсуси модда-люминофор мемоланд, ки он шуоҳои ултрабунафширо фуру бурда, рӯшноии таркибаш ба нурҳои офтоб наздику ба чашм фораи меафкананд ва номи чароғи-рӯз гирифтани онҳо аз ҳамин ҷост. Чароғҳои рӯз назар ба лампаҳои муқаррари тафсиш самараноктар ва қоршоияшон (3-4 маротиба) тӯлонитар мебошад.

4) Плазма. Плазма гуфта гази қисман ё пурра ионизатсияшударо мафаҳманд, ки дар он концентратсияҳои ионҳои мусбату манфӣ амалан баробаранд, яъне газ қуллан нейтралест (плазма сухани юнонии *plasma* буда, ташаккули маънидод қарда мешавад).

Гази дараҷаи ионизатсияаш баланд ҳолати махсуси модда аст, ки аз гази муқаррарӣ, моеъ ё қристалло фарқи қалон дорад. Ҳамин аст, ки плазма чун ҳолати қорӯи агрегатии модда ба ҳисоб меравад. Плазма ноқилияти қалони электрӣ дорад. Қараёнро дар плазма асосан ҳаракати электронҳо ташкил медиҳад, зеро ҳаракатмандии онҳо назар ба ҳаракатмандии ионҳо зиёдтар аст.

Плазмаи баландҳарорат ($\approx 10^8$ K)-ро, ки одатан дар қарри Офтоб (температури сатҳи берунаи Офтоб ақариб 6000 K буданаширо хотиррасон мекунем) ва ситорагон вучуд дорад. Плазмаи тахливиро фарқ менамоянд: он ҳангоми аз газ гузаштани қараён ташкил меёбад. Зарраҳои заряднок (электрон ва ионҳо)-и плазмаи тахливӣ дар майдони шитобдиҳандаи электрӣ дорои қиматҳои миёнаи энергияи кинетикии гуногун мебошанд. Аз ин рӯ *температураҳои электронӣ* T_e ва *ионӣ* T_i -ро фарқ мекунанд, аниқтараи $T_e > T_i$ аст. Пас, плазмаи тахливӣ дар мувозинати ҳароратӣ нест.

Омухтани ҳосиятҳои физикавии плазма аз як тараф бисёр проблемаҳои астрофизикоро ҳал менамояд, зеро дар фазои қойинот плазма аз ҷама ҳолатҳои пахншуда буда, масалан атрофи Заминро минтақа (тасма)-ҳои плазма ихота қардаанд, инчунин ионосфера асосан аз плазма таркиб ёфтааст. Аз тарафи дигар, имқонияти идора қардани реаксияҳои термоядроиро фароҳам меоварад, зеро ҳадафи асосии тадқиқотҳои синтези термоядроии ядроҳои сабуқ плазмаи баландҳарорат мебошад.

Плазмаи пастҳарорат ($\leq 10^5$ K) дар лазерҳои газӣ, табдилдиҳандаҳои термoeлектронӣ дар генераторҳои ба ном

магнитогидродинамикӣ (мухтасар МГД-генераторҳо) татбики васеъ ёфтааст.

§2.10. Чараёни электрӣ дар нимнокилҳо

1. **Нокилияти хусусии нимнокилҳо.** Дар соҳаҳои гуногуни электроникаи муосир моддаҳои татбики васеъ ёфтаанд, ки *нимнокилҳо* ном гирифтаанд. Ба нимнокилҳо асосан элементҳои ғуруҳҳои 4, 5 ва 6-уми ҷадвали даврии Менделеев: бор – *B*, карбон–*C*, силитсий–*Si*, фосфор–*P*, ғуғирд–*S*, галлий–*Ga*, германий–*Ge*, марғи муш ё худ арсений–*As*, селен–*Se*, қалъағӣ–*Sn*, сурма–*Sb*, теллур–*Te*, индий–*In*, аксар минералҳо (масалан Cu_2O), сулфидҳо, теллуридҳо, селенидҳои металлҳо ва ғайра мансубанд.

Мувофиқи муқовимати ҳосашон ($\rho=10^5\div10^{-6}$ Ом·м) нимнокилҳоро дар мобайни металлҳо ($\rho=10^{-6}\div10^{-8}$ Ом·м) ва диэлектрик ё худ изоляторҳо ($\rho=10^5\div10^{14}$ Ом·м) ҷойгир карда метавонем. Вобаста ба температура нимнокилҳо хусусиятҳои аҷиб зоҳир менамоянд. Чунончӣ, нокилияти ҳоси нимнокилҳо ($\gamma=1/\rho$) вобаста ба температура T мувофиқи қонунияти:

$$\gamma = \gamma_0 e^{\frac{W_a}{kT}} \quad (2.78)$$

тағйир меёбад, ки дар ин ҷо γ_0 -нокилияти ҳос дар 0°C (273 K), k -дойимии Болсман, W_a -ба номи *энергияи активатсияи атом* (энергияи барои қандани банди кимиёвӣ зарур) мебошад.

Агар ҳангоми ба ҳар 1°C гарм кардан муқовимати ҳоси металлҳо танҳо ба 0,3 % кам шавад, нокилияти ҳоси нимнокилҳо 5–6 % меафзояд. Дар температураҳои паст нимнокил чун диэлектрик рафтор мекунад, вале дар температураҳои баланд фарқияти чараёнгузаронии металлҳои нимнокилҳо назарногир мешавад.

Ба нимнокилҳо омехтаҳои ғайр (маҳлут ё ғашҳо) ворид сохта, нокилияти онҳоро ҳеле зиёд кардан мумкин аст. Чунончӣ, ба қадри 0,001 % бо атомҳои бор иваз кардани атомҳои силитсий нокилияти силитсий миллионҳо маротиба меафзояд.

Бо таъсири дигари беруна, аз қабилӣ бо рӯшноӣ ё афканишоти радиоактивӣ шуоъборон кардан, нокилияти нимнокилҳоро ба қадри назаррас тағйир додан имконпазир мебошад.

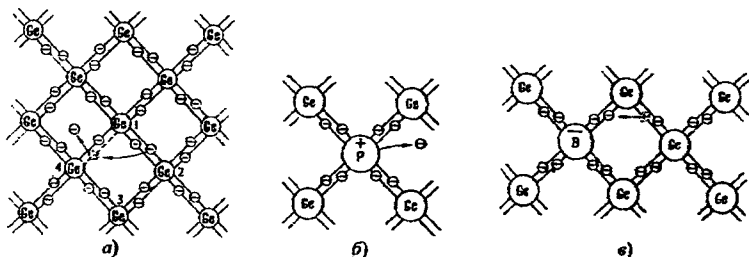
Барои шарҳ додани ҳосиятҳои зикрёфта ва хусусиятҳои дигари нимнокилҳо сохтори дохилии онҳоро баррасӣ намудан лозим меояд. Мо ин масъаларо дар мисоли нимнокилҳое, ки дар электроникаи муосир татбики васеъ ёфтаанд–германий ва силитсий (энергияи активатсияи онҳо мувофиқан 0,77 эВ ва 1,1 эВ буданашон муқаррар карда шудааст), муҳокима менамоем.

Масалан, дар кристалли германий 32 электрони ҳар як атомаш тавре тақсим шудаанд, ки дар қабати берунии атом чорто электрони валентӣ ҷойгиранд ва атом тавассути ин электронҳо бо чорто атоми ҳамсоя банди кимиёвӣ ташкил менамояд. Дар натиҷа тамоми атомҳои кристалл дар ҳамтаъсири дастаҷамъона буда, дар ғирехҳои панҷараҳои шаклашон дуруст нигоҳ дошта мешаванд. Дар расми 2.18 a ин гуна ҳамтаъсирот шартан дар порчаи нимнокил тасвир ёфтааст, ки он сздаҳо атомро дарбар мегирад. Дар температураи ҳона

($T=300\text{ K}$) энергияи кинетикии электронҳои банд мувофиқи формулаи

$$\varepsilon_k = \frac{3}{2} kT \text{ анқариб } 0,04 \text{ эВ-ро ташкил медиҳад ва барои кандани}$$

бандҳои кимиёвӣ кофӣ нест. Ҳамин аст, ки дар температураҳои паст тамоми электронҳои атомҳо дар бандҳои кимиёвӣ ҷойгиранд ва электронҳои озод анқариб вучуд надоранд, аз ин рӯ нимноқил чун диэлектрик рафтор мекунад.



Расми 2.18

Бо ягон таъсири беруна, масалан нимноқилро тафсонда, ё онро шуоъборон карда, электронҳои банди кимиёвиро ба электронҳои озод табдил додан имконпазир аст. Дар расми 2.18 *a* ин гуна электронҳои озод дар назди атомҳои 1, 2, 3, 4-ум нишон дода шудаанд. Ҷойи ҳолҳои электронҳои озодгардида гӯё зарраи мусбат заряднок аст ва онро шартаи «сӯроҳча» (баъзан ҷавф) меноманд. Дар расми 2.18 *a* ин гуна ҷойҳо бо доираҳои штрихонида тасвир ёфтаанд ва «сӯроҳча» ном гирифтани онҳо аз ҳамин ҷост. Ба ин сӯроҳча аз атомҳои ҳамсоя электрон ҷаҳида гузашта, онро пур карда метавонад (гӯё сӯроҳча барҳам мекунад, тавре ки мегӯянд, рекомбинатсия мешавад), вале ҳамзамон сӯроҳча ба атоми ҳамсоя мекӯчад. Яъне сӯроҳчаҳо ҳаракатманд мебошанд.

Агар порчаи нимноқилро дар майдони берунаи электрӣ ҷойгир намоем (чуноне ки аз расми 2.18 *a* тасвир ёфтааст, электронҳо ба тарафи чапу сӯроҳчаҳо ҷониби рост мекӯчанд), сӯроҳчаҳо ҳамчун заряди мусбат ба самти шадидияти ин майдону электронҳои озод ба самти муқобили шадидият ба ҳаракати бонизом медароянд, яъне аз нимноқил ҷараён мегузарад.

Ҳамин тариқ, дар нимноқилҳо ҳангоми ташкил ёфтани электронҳои озоду сӯроҳчаҳо ҷараёни электрӣ чун ҳаракати бонизомии онҳо ба вучуд омада метавонанд, ки *ноқилияти хусусии нимноқилро* ташкил медиҳанд.

Бояд қайд кард, ки дар ноқилияти хусусии нимноқилҳо ҳаракатмандии электронҳои озод зиёдтар аст ҳаракатмандии сӯроҳчаҳо камтар, зеро ҷаҳиши электронҳои банд аз як атом ба атоми дигар ҷандон ҳодисаи беихтиёр нест (тавре ки тадқиқотҳо нишон доданд, дар германий ҳаракатмандии электронҳои озод $b_e = 0,03 \text{ м}^2 / (\text{В} \cdot \text{с})$, ҳаракатмандии сӯроҳчаҳо $b_e = 0,019 \text{ м}^2 / (\text{В} \cdot \text{с})$ мебошад), зеро барои кандани бандҳои кимиёвӣ кори ба энергияи активатсияи атом баробарро иҷро кардан мебошад.

2. Нокилияти махлутӣ. Бо усули ба нимнокил ворид сохтани атомҳои ғайр (омехтаҳои махлутӣ) тавре ки зикр ёфт, теъдоди электронҳои озоду сӯрохчакоро ҳеле зиёд, қардан имконпазир аст. Дарвоқеъ, агар ба ҷойи якто атоми қорвалентаи германий ё силитсий тавассути диффузия атоми панҷвалентӣ (масалан фосфор, марги муш) ворид созем (расми 2.18, б), якто электрони иловагии озод (ба зами электронҳои озоди ҳамчун ҳомилони нокилияти хусусӣ мавҷудбуда) ташкил меёбад. Омехтаҳои бо ин навъ воридкардари *омехтаи донорӣ* (аз сухани латинии ҳада қардан, додан) ва нокилияти бо ин тарз ҳосилшавандари *нокилияти n -тип* (ё навъ) меноманд (аз сарҳарфи сухани латинии *negativus*-манфӣ).

Дар мавриди ба ҷойи атоми *Ge* ё *Si* ворид сохтани атоми севалентӣ (масалан бор-*B*, галлий *Ga*) якто банди ҳолӣ, яъне якто сӯрохчаи иловагӣ ҳосил мешавад (расми 2.18, в). *Омехтаҳои* бо ин тарз воридсохтаро *акцепторӣ* (аз сухани латинии *acceptor*-қабулкунанда) ва нокилияти бо ин усул ҳосилшавандари *нокилияти p -тип* (аз сарҳарфи сухани латинии *positivus*-мусбат) меноманд. Яъне, дар нокилияти *n*-тип нақши асосиро электронҳои озоду дар нокилияти *p*-тип ин гуна нақшо сӯрохчаҳо мебозанд.

Нокилияти махлутӣ аз нокилияти хусусӣ бо он фарқ мекунад, ки нокилияти махлутиро ҳомилони як аломату нокилияти хусусиро ҳомилони ду аломат ташкил медиҳанд.

Хотиррасон қардан бамаврид аст, ки дар ҳарду навъи нокилият қараёнро ҳаракати бонизомӣ ҳамон электронҳо ташкил медиҳад.

Нокилияти махлутиро консентратсияи ҳомилони қараён (электронҳои озоду сӯрохчаҳо) ва ҳаракатмандии онҳо муайян менамоянд. Аз ин рӯ ин навъ нокилиятро мувофиқи дархост танзим додан имконпазир мебошад ва афзалияти муҳимтарини он назар ба нокилияти хусусӣ маҳз дар ҳамин аст.

3. Диоди нимнокилӣ. Агар нимнокили *n*-типро бо нимнокили *p*-тип васл созем, системаи ба ном *p-n* гузариш ҳосил мешавад, ки онро *диодии нимнокилӣ* меноманд (аз юнонии *di(s)*-ду қарат), ки асбоби дуэлектродӣ буданаҷро мефаҳмонад. Ин гузариш аҳамияти калон дорад, зеро амали бисёр асбобҳои нимнокилӣ ба он асос ёфтааст.

Усулҳои гуногуни ҳосил қардани *p-n* гузариш мавҷуданд. Яке аз онҳо, ки бештар қорбаст мешавад, чунин аст. Ба рӯи лавҳаи нимнокилӣ, масалан германий, ки нокилияташ *n*-тип аст, як порча индий ҷойгир қарда, андаруни кӯра (печка) мегузоранд. Дар температураи баланд (анқариби 500 °C) индий ғудохта, ҷӯшпайванди лавҳаи германий мешавад ва дар он соҳаи нокилияташ *p*-типро ба вучуд меорад. Ба ҳуди лавҳаи германий ва «қатраи» сахтшудаи индий ду нокили васлсозӣ қашсер мекунад.

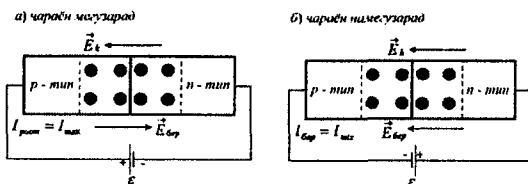
Дар *p-n* гузариш ҳар яке аз нимнокилҳо дар алоҳидагӣ аз ҷиҳати электрӣ нейтраланд. Вале дар натиҷаи васл аз ҳудуди расиш (қонтакт ё худ тамос)-и онҳо тавассути диффузия теъдоди қами электронҳои озод аз нимнокили *n*-тип ба *p*-тип гузашта, як миқдор сӯрохчакоро пур (рекомбинатсия) мекунад. Дар натиҷа нимнокили *n*-тип дорои қаряди мусбату нимнокили *p*-тип манфӣ қаряднок мешавад, яъне қарқи потенциалҳои қонтактӣ ташкил меёбад. Ин қарқи потенциалҳо дар ҳудуди расиш қабати тунуқи ғафсиаш якҷанд

микрометрро, ки қабати бандкунада ё мамнӯ номид мешавад, ба вучуд меоварад. Хамин аст, ки дар он қабат майдони электрии шадидияташ $\vec{E}_k$ вусъат меёбад (расми 2.19) ва ба диффузияи минбаъдаи электронҳо сӯрохҳо монё мешавад ва қабати мамнӯ ном гирифтани аз хамин ҷост. Агар ғафсии қабати мамнӯ $d=10^{-6}$ м (1 мкм) бошад, дар ҳоли 1 В будани фарқи потенциалҳои контактӣ шадидияти майдони зикрѐфта $\vec{E}_k = 10^6$ В/м мешавад.

Хусусияти муҳими $p-n$ гузариш нокилияти яктарафа доштаниаш аст. Дарвоқеъ, агар ба нимнокили p -типи диод қутби мусбати манбаи беруна (ϵ) ва ба нимнокили n -тип қутби манфии онро васл созем, майдони беруна $\vec{E}_{бер}$ майдони қабати мамнӯ $\vec{E}_k$ -ро суст мекунад, амалан барҳам медиҳад (расми 2.20, а). Дар натиҷа аз диод ҷараёни зиёдтарини ба ном ҷараёни рост $I_{рост} = I_{max}$ мегузарад. Баръакс, вақте ки ба нимнокили p -тип қутби манфию ба нимнокили n -тип қутби мусбати манбаи беруна (ϵ)-ро васл созем, (расми 2.20, б), акнун шадидияти майдони беруна $\vec{E}_{бер}$ бо майдони қабати мамнӯ $\vec{E}_k$ ҳамсамт асту боиси аз диод гузаштани ҷараёни қуввааш камтарини ба номи ҷараёни баръакс $I_{баръакс} = I_{min}$ (ҳамагӣ якчанд микроампер) мешавад, ки амалан баробари сифр мебошад.



Расми 2.19



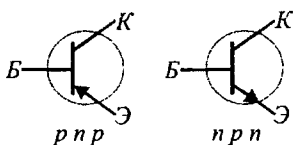
Расми 2.20

Хамин аст, ки диоди нимнокилӣ барои ба ҷараёни доимӣ баргардонидани ҷараёнҳои тағйирёбанда (ин гуна ҷараёнҳо барои интиқол ҳеле мусоиданд) қорбаст мешаванд ва амали қуллӣ *ростгардонҳо* (ба лафзӣ русӣ *выпрямительҳо*) ба ин хусусияти диоди нимнокилӣ асос ёфтааст.

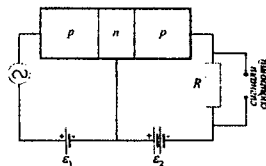
4. Транзистор. Соли 1948 олимони амрикоӣ У. Шокли, Ч. Бардин ва У. Браттейн асбоби нимнокилиро ихтироъ карданд, ки бо номи ба бисёриҳо шиноси *транзистор* (аз суханҳои англисии trans (fer) – нақл кардан, интиқол додан resistor-муқовимат) маъмул гаштааст. Барои тадқиқи хосиятҳои нимнокилҳо ва кашфи *эффекти танзисторӣ* соли 1956 олимони номбурда сазовори ҷоизаи Нобелӣ гардиданд.

Транзистори соддатарин аз монокристалли германий ё силитсий иборат мебошад, ки дуто p - n гузариш дорад. Масалан, дар pnp -транзистор нокилияти қисми мобайнӣ (ба ном *база*—аз фаронсавии асос, поя) n -тип асту ду қисми лотинии дорои нокилияти p -тип мебошад, ки яке *эмиттер* (аз сухани лотинии афкандан, баровардан) ва дигаре *коллектор* (аз сухани лотинии ҷамъоваранда) ном гирифтаанд. Транзисторҳои pnp низ мавҷуданд (расми 2.21, ки дар он тасвири схемавӣ ва ишорати шартӣ транзисторҳо оварда шудаанд).

Амали транзисторро дар мисоли pnp -транзистор, ки чун дар расми 2.22 тасвирёфта пайваст мебошад, баррасӣ менамоем. Ба яке аз p - n гузаришҳо, масалан гузариши ҷап тавассути батареяи $\mathcal{E}_1$ шиддати рост, дар гузариши рост бо ёрии батареяи $\mathcal{E}_2$ шиддати зиёди баръакс васл карда мешавад. Чараёне, ки аз p -соҳаи ҷап (эмиттер) ба база самт мегирад, асосан аз ҳаракати сӯрохчаҳо иборат аст. Сӯрохчаҳо аз n -соҳаи хеле тунук (бараш якчанд микрометр) анқариб дучори рекомбинатсия нагардида (94–97 %) ба соҳаи p -и рост (коллектор) меҷаҳанд, тавре ки мегӯянд, *инжексия* (аз фаронсавии пошхӯрӣ) мешаванд. Азбаски коллектор тавассути муқовимати хеле калони R_k ба қутби манфии $\mathcal{E}_2$ васл мебошад, сӯрохчаҳо сӯйи ин қутб ҳаракаташонро идома дода, дар R_k афтиши шиддати баланди баромад (содиротӣ)—ро ба вуҷуд меоранд. Тағйироти ками шиддат дар гузариши ҷап аз ҳисоби сигнали пасти воридотӣ (масалан сигналҳои радио, телевизион) ба вуҷудодада сабабгори тағйироти мувофиқи зиёди чараён дар занҷири коллектор ва аз ин рӯ шиддати баланд дар R (сигнали баромад ё содиротӣ) вусъат меёбад. Хамин аст *эффекти транзисторӣ*. Пас, транзистор ҳамчун *тақвиятдиҳанда*, яъне *қувватфизои* сигналҳои сул хизмат мекунад. Транзисторҳо ҷузъҳои асосии қувватфизоҳои электрони муосир мебошанд.



Расми 2.21



Расми 2.22

Миниатюризатсияи дастгоҳҳои муосири электронӣ имкон медихад, ки дар якто *чипи* (аз англисии chip—кристаллҷаи нимнокилии дорои схемаҳои интегралӣ ё худ микросхема) андозааш анқариб 1 см ҳазорҳо диод, транзисторҳо ҷойгир карда шаванд ва ҳамчун протсессорҳои компютерҳо хизмат намоёнд.

§2.11. Хатарҳои чараёни электрӣ

Ҳангоми ногаҳон ба симҳои лучи шиддатдори электрӣ расидани узвҳои одам дар ҳоли бо замин ё тавассути ноқил ба замин васл буданаш аз тани одам чараён гузашта метавонад, зеро қисми одам барои чараёни электрӣ нокили хубест. Чараён аз тани одам гузашта, якчанд равандҳои ба худ хосеро ба вуҷуд меоварад, ки ба саломати одам таъсири хатарнок аст. Ҳафнокии чараён ба қувваи он, тӯли

таъсирот, роҳи гузариш, дойимӣ ё тағйирёбанда, басомади чараёни тағйирёбанда ва ҳолати организми одам вобаста мебошад. Агар чараён ба воситаи дил, шуш ва ҳуҷайраҳои системаи марказии асаб гузарад, хавфи он бештар мешавад.

Каму беш гузаштани чараён ба муқовимати ҷисми одам вобаста аст. Муқовимати одамҳои гуногун фарқ дорад. Агар пӯст беаҳам ва хушк бошад, муқовимати он аз 3 000 то 100 000 Ом буда метавонад. Қисми зиёди муқовимати одамро пӯст ташкил медиҳад. Муқовимати ҷисми одам бе пӯст ҳамагӣ 300-500 Ом мебошад. Аз ин рӯ шиддати пасти 36-42 В сабабгори таъсироти ҳатаровари чараён гардида метавонад.

Чараёни тағйирёбандаи қуввааш 5-7 мА сӯзиши пӯст ва қадре гарангшавиро ба вучуд меорад. Ин қадар чараён чандон хавфнок нест, лекин мавриди муддати дароз гузаштанаш сабабгори нобоварӣ ва гарангии одам мешавад. Ҳангоми гузаштани чараёни 8-10 мА дастҳо ба дард мебароянду рағҳо ва мушакҳо кашиш меҳӯранд. Чараёнҳои тағйирёбандаи басомадаш саноатӣ (50 Ҳс)-и қуввааш 10-15 мА ва дойимии қуввааш 50-80 мА дарди тоқатнопазир ба вучуд меорад. Дар ҳоли 25-50 мА будани чараёни тағйирёбанда на фақат мушакҳои даст, балки мушакҳои бадан ва кафаси сина осеб мебинанд, рағҳои хунгард фишурда мешаванд, фишори хун меафзояду зарардида аз хуш меравад. Таъсири дарозмуддати ин қадар чараён сабабгори катъи шудани нафаскашиву ҳалокати одам мегардад. Ҳол он, ки ҳангоми шиддати 220 В қувваи чараёни аз тани одам гузаранда

$$I = \frac{220 \text{ В}}{3000 \text{ Ом}} \approx 70 \text{ мА} \text{ мешавад.}$$

Чараёни тағйирёбандаи 100 мА ва аз он зиёдтару чараёни дойимии қуввааш 300 мА ниҳоят хавфнок ҳисоб меёбад.

Бо зиёд кардани басомади чараёни тағйирёбанда (1-2 кҲс) ҳатари чараён якбора кам мешавад ва дар басомадҳои 450-500 кҲс хавфи таъсироти чараён барҳам меҳӯрад. Зеро дар ин маврид ба туфайли скин-эффект чараёни тағйирёбанда ба сатҳи пӯсти муқовиматаш баланд мегузарад ва ба мушакҳову рағҳои хунгард таъсир намерасонад.

Тавре ки тадқиқот нишон медиҳад, таъсироти чараёни дойимӣ назар ба чараёни тағйирёбанда 4-5 маротиба сустар мебошад.

Ҳамин тариқ, аз чараёни электрӣ эҳтиёт шуданро набояд фаромӯш сохт, ба симҳои луч бе боварии катъи даст расондан мумкин нест. Барои одами ба симҳои лучи чараёндор расидаро ҷудо кардан аз диэлектрикҳои боэтимод бояд истифода бурд. Пеш аз ҳама, бо ёрии масалан табари дасташ ҷубин, ё бо дасти резинпӯш сими чараёндорро буррида, одами зарардидаро аз чараён ҷудо кардан мебошад. Ба одами аз таъсири чараён осебёфта баъд аз чараён ҷудо кардан ҳарчӣ зудтар нафасгирии сунъиро ба қор андохта, ба қадри имкон ёрии таъчилюро диҳват намудан лозим аст. Ба ҳеҷ ваҷҳ аз амалиёти насанҷида (аз қабилӣ одами зарардидаро то гулӯ ба ҳок гӯр кардан) набояд истифода бурд. Аз ин рӯ бо қоидаҳои ёрии аввалини беҳатарӣ огоҳ будани ҳар як фард ҳатмист.

Машқи 2

2.1. Аз нокили алюминии диаметраш $d = 2$ мм чараёни қуввааш $I = 6,28$ А мегузарад. Зичии чараён, суръати миёнаи ҳаракати бонизомии электронҳо дар нокил чӣ қадар аст? Муайян намоед, ки аз бурришгоҳи арзии нокил дар тӯли $t = 5$ дақ чандто электрон мегузарад. Ба эътибор гиред, ки зичии алюминий $D = 2700$ кг/м³, адади Авогадро $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ мол⁻¹, массаи молии алюминий $M = 27 \cdot 10^{-3}$ кг/мол мебошад.

$$(j = 2 \cdot 10^6 \text{ А/мм}^2; \langle \vartheta \rangle = 2 \cdot 10^4 \text{ м/с}; N_e = 12 \cdot 10^{21})$$

2.2. Аз сими алюминии диаметраш $d = 0,5$ мм чараёни қуввааш $I = 0,5$ А мегузарад. Агар муковимати хоси алюминий $\rho = 2,8 \cdot 10^{-8}$ Ом·м бошад, ба электрони озод дар ин сим чӣ қадар қувваи электрӣ таъсир мекунад?

$$(\approx 10^{-20} \text{ Н})$$

2.3. Муковимати печакҳои ғалтаки нокилии мисин дар температураи $t_1 = 14^\circ\text{C}$ ба қадри $R_1 = 10$ Ом буданаш маълум аст. Ҳангоми аз ғалтак гузаштани чараён муковиматаш $R_2 = 12,2$ Ом шуданашро муқаррар карданд. Печакҳои ғалтак то кадом температураи t_2 гарм шудааст? Коэффитсиенти температуравии муковимат барои мис $\alpha = 4,15 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ буданашро ба эътибор гиред.

$$(t_2 \approx 70^\circ\text{C})$$

2.4. Мила (стержен)-и оҳанин бо милаи ангиштие, ки ҳамон қадар ғафсӣ дорад, васл шудааст. Ҳангоми чӣ гуна нисбат доштани дарозии милаҳо ($x = l_1/l_2$) муковимати умумӣ ба температура вобаста намешавад? Коэффитсиенти температуравии муковиматҳои оҳану ангишт мувофиқан $\alpha_1 = 6,2 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$; $\alpha_2 = -0,8 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ ва муковимати хоси ин моддаҳо дар 0°C мувофиқан $\rho_{01} = 8,7 \cdot 10^{-8}$ Ом·м, $\rho_{02} = 4 \cdot 10^{-6}$ Ом·м мебошанд.

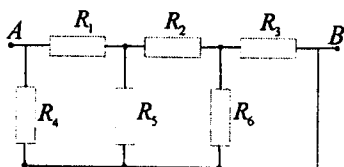
$$(x = 6)$$

2.5. Муковимати умумии китъаи AB -и занҷири дар расми 2.23 тасвирёфта муайян карда шавад, агар $R_1 = 1$ Ом, $R_2 = 3$ Ом, $R_3 = R_4 = R_6 = 2$ Ом ва $R_5 = 4$ Ом бошад.

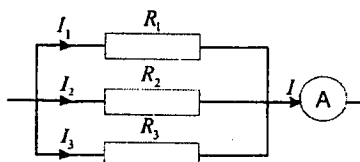
$$(R_{AB} = 1,2 \text{ Ом})$$

2.6. Дар расми 2.24 амперметр чараёни қуввааш $I = 1,5$ А - ро нишон медиҳад. Агар аз муковимати R_1 чараёни қуввааш $I_1 = 0,5$ А гузарад ва муковиматҳо $R_2 = 2$ Ом, $R_3 = 6$ Ом бошанд, қувваи чараёнҳои аз муковиматҳои R_2 ва R_3 чоришаванда, инчунин муковимати R_1 -ро муайян намоед.

$$(R_1 = 3 \text{ Ом}; I_2 = 0,75 \text{ А}; I_3 = 0,25 \text{ А})$$



Расми 2.23



Расми 2.24

2.7. Вольтметри ба муковимати $R_1 = 70 \text{ Ом}$ пай дар пай васлбуда хангоми ба шабакаи шиддаташ $U = 240 \text{ В}$ пайваст кардан шиддати $U_1 = 100 \text{ В}$ -ро нишон медиҳад. Дар мавриди хамин вольтметрро бо муковимати $R_2 = 30 \text{ Ом}$ пай дар паю боз ба ҳамон шабака пайвастан нишондоди вольтметр чӣ қадар мешавад?

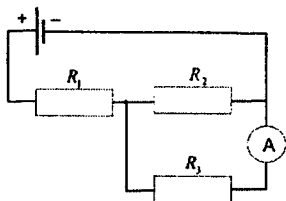
$$(U_2 = 150 \text{ В})$$

2.8. Хангоми пай дар пай васл кардани муковиматҳои R_1 ва R_2 қувваи ҷараён назар ба пайвасти параллели онҳо 6,25 маротиба хурд мебошад. Муковиматҳои ин ноқилҳо чанд маротиба фарқ мекунанд?

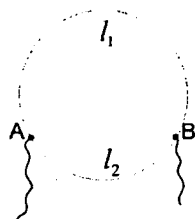
$$(4 \text{ маротиба})$$

2.9. Шиддат дар сикқонак (клемма)-ҳои манбаъ $U = 2,1 \text{ В}$, муковиматҳо $R_1 = 5 \text{ Ом}$ ва $R_2 = 3 \text{ Ом}$ мебошанд (расми 2.25). Амперметр чӣ қадар қувваи ҷараёнро нишон медиҳад?

$$(I_2 = 0,2 \text{ А})$$



Расми 2.25



Расми 2.26

2.10. Галванометри муковимати доҳилиаш $R_g = 0,99 \text{ Ом}$ қувваи ҷараёни на зиёдтар аз $I_g = 10 \text{ мкА}$ -ро чен карда метавонад. Барои бо ин асбоб чен намудани қувваи ҷараёни то $I = 1 \text{ мА}$ чӣ қадар муковимати иловагӣ (шунт) ва онро чӣ гуна пайвастан мебоянд?

$$(R_{ш} = 0,01 \text{ Ом})$$

2.11. Ба вольтметри муковимати доҳилиаш $R_v = 1500 \text{ Ом}$ чӣ қадар муковимати иловагӣ (шунт) ва онро чӣ гуна пайвастан лозим аст, ки қимати як таксимоташ $n = 5$ маротиба афзояд?

$$(R_{ш} = 0,01 \text{ Ом})$$

2.12. Аз порчаи нокили муковиматаш $R=10 \text{ Ом}$ халқае сохта шудааст. Симҳои чараёнгузарро дар кадом нуқтаҳои A ва B -и халқа (расми 2.26) бояд васл намуд, ки муковимати натиҷавӣ $r=1 \text{ Ом}$ шавад? Нисбати дарозии ин китъаҳо l_1/l_2 чӣ қадар бояд бошад?

$$(R_1=8,9 \text{ Ом}; R_2=1,1 \text{ Ом}; l_1/l_2 \approx 8)$$

2.13. Муковимати ғалтаки симааш мисин $R=10,8 \text{ Ом}$, массаи сим $m=3,41 \text{ кг}$ мебошад. Дарозии сим l ва диаметри он d -ро муайян намоед. Ба эътибор гиред, ки муковимати хоси мис $\rho=1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ ва зичии он $D=8,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

$$(l=100 \text{ м}; d=1 \text{ мм})$$

2.14. Барон ҳосил кардани гармидихандаи иқтидораш $P=1 \text{ кВт}$, ки ба шиддати шабакаи шахрӣ ($U=220 \text{ В}$) таъйин шудааст, чанд печай сими нихромии диаметраш $d=1 \text{ мм}$ -ро ба силиндри чинигини радиусааш $r=2 \text{ см}$ печонидан лозим аст? Муковимати хоси нихром $\rho=10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ буданаширо ба эътибор гиред.

$$(N=242)$$

2.15. Микдори гармие, ки дар воҳиди вақт дар воҳиди ҳаҷми сими мисини зичии чараёнаш $j=120 \text{ кА/м}^2$ хорич мегардад, чӣ қадар аст? Муковимати хоси мис $\rho=1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ буданаш ба эътибор гирифта шавад.

$$(245 \text{ Ҷ/м}^3 \cdot \text{с})$$

2.16. Аз манбайи шиддаташ $U=10 \text{ кВ}$ ба масофаи $l=5 \text{ км}$ чараёни электрии иқтидораш $P=5 \text{ 000 кВт}$ -ро накл кардан мебояд. Талафоти иқтидор дар симҳо набояд аз 1% зиёд гардад. Диаметри симҳои мисине, ки тавассути онҳо энергия накл карда мешавад, чӣ қадарро интиҳоб намудан лозим аст? Муковимати хоси мис $\rho=1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

$$(d \approx 3 \text{ мм})$$

2.17. Чойники электрии дорои оби ҳаҷмаш $V=0,6 \text{ л}$, температураи аввалааш $t_0=15^\circ\text{C}$ -ро ба шабакаи шахрӣ ($U=220 \text{ В}$) васл сохта, аз он чудо намуданро фаромӯш карданд. Агар муковимати гармидихандаи чойник $R=16 \text{ Ом}$ бошад, баъди чанд вақти пайвасти чойник (τ) оби чойник чӯшида пурра ба буг табдил меёбад? ККФ-и чойник $\eta=60\%$, гармигунҷоиши хоси об $c=4,2 \text{ кҶ/(кг} \cdot ^\circ\text{C)}$ ва гармии хоси буггардонии он $L=2,3 \text{ МҶ/кг}$ буданаширо ба эътибор гиред

$$(\tau \approx 1,5 \text{ дақ.})$$

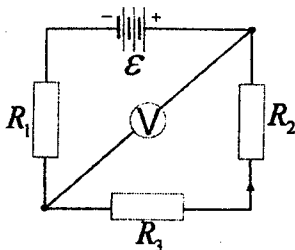
2.18. Ҳангоми чараёни қуввааш $I_1=3 \text{ А}$ дар китъаи берунии занчири аккумулятор иқтидори $P_1=18 \text{ Вт}$ ва дар мавриди чараёни қуввааш $I_2=1 \text{ А}$ иқтидори $P_2=10 \text{ Вт}$ вусъат меёбад. Аз ин маълумот

ҚЭХ-и аккумулятор, муковимати дохилии он ва ККФ дар ҳар ду маврид муайян карда шавад.

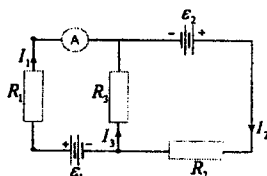
$$(\varepsilon = 12 \text{ В}, r = 2 \text{ Ом}, \eta_1 = 50\%, \eta_2 = 83\%)$$

2.19. Дар расми 2.27 муковиматҳои $R_1 = R_2 = R_3 = 100 \text{ Ом}$, вольтметр шиддати $U_V = 200 \text{ В}$ -ро нишон медиҳад. Агар муковимати вольтметр $R_V = 800 \text{ Ом}$ бошад, ҚЭХ-и манбаъро муайян намоед. Муковимати дохилии манбаъро ба этибор нагиред.

$$(\varepsilon = 325 \text{ В})$$



Расми 2.27



Расми 2.28

2.20. Ба занҷири генератори ҚЭХ-аш $\varepsilon = 200 \text{ В}$ муковиматҳои $R_1 = 200 \text{ Ом}$ ва $R_2 = 1000 \text{ Ом}$ пай дар пай васланд. Дар нӯғҳои R_2 вольтметр пайваст мебошад ва он шиддати $U_2 = 160 \text{ В}$ -ро нишон медиҳад. Муковимати вольтметр чӣ қадар аст? Муковимати дохилии манбаъ ба этибор гирифта нашавад.

$$(R_V = 4 \text{ кОм})$$

2.21. Муковимати R -ро батареяи аз N элементҳои якхела таркибёфта бо ҷараён таъмин менамояд. Ҳангоми чӣ қадар будани муковиматҳои дохилии ҳар як элемент (r) қувваи ҷараён ҳам дар мавриди параллелан ва ҳам пай дар пай васл кардани элементҳо баробар ($I_{\text{пар}} = I_{\text{пай}}$) мешавад?

$$(r = R)$$

2.22. Се ҷароғаки автомобилии параллелан пайваст, ки ҳар яке ба шиддати $6,3 \text{ В}$ ва ҷараёни қуввааш $0,3 \text{ А}$ таъйин шудааст, ба воситаи реостат аз аккумулятори ҚЭХ-аш 9 В ва муковимати дохилиаш 1 Ом гизо мегиранд. Агар яке аз ҷароғақҳо аз кор барояд («сӯзад») барои мисли пештара фурузон шудани ҷароғақҳои боқимонда муковимати реостатро чӣ қадар бояд тағйир дод?

$$(\text{ба } 1,5 \text{ Ом зиёд кардан мебояд})$$

2.23. ҚЭХ-и батареяҳо $\varepsilon_1 = 2 \text{ В}$, $\varepsilon_2 = 4 \text{ В}$, муковимати $R_1 = 0,5 \text{ Ом}$, афтиши шиддат дар муковимати R_2 ба $U_2 = 1 \text{ В}$ баробар аст (расми 2.28). Нишондоди амперметр муайян карда шавад.

$$(I_1 = 2 \text{ А})$$

2.24. Қувваҳои ҷараён дар қитъаҳои алоҳидаи кӯпрукчаи Уитстон (расми 2.29) ба шарте ёфта шавад, ки аз гальванометр

мавҷудияти ҷараёно нишон надихад ($I_r = 0$); $\mathcal{E} = 2 \text{ В}$, $R_1 = 30 \text{ Ом}$, $R_2 = 45 \text{ Ом}$, $R_3 = 200 \text{ Ом}$ бошад. Муқовимати дохилии манбаъ ба эътибор гирифта нашавад.

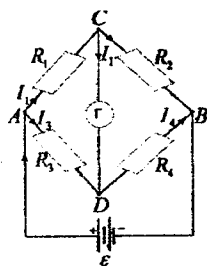
$$(I_1 = I_2 = 0,0267 \text{ А}; I_3 = I_4 = 0,004 \text{ А})$$

2.25. Микдори электрии конденсатори гунҷошаш $C = 10 \text{ мкФ}$ -ро, ки ба занҷири дар расми 2.30 тасвирёфта васл шудааст, муайян намоед. Аз резистори $R = 20 \text{ Ом}$ ҷараёни қуввааш $I = 1 \text{ А}$ мегузарад ва ҚЭХ-и манбаъ $\mathcal{E} = 12 \text{ В}$ аст. Муқовимати дохилии манбаъро ба эътибор нагиред.

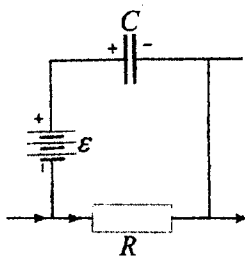
$$(Q = 320 \text{ мкКл})$$

2.26. Манбаъҳои ҷараёни ҚЭХ-ашон $\mathcal{E}_1 = 12 \text{ В}$ (муқовимати дохилаш $r_1 = 5 \text{ Ом}$) ва $\mathcal{E}_2 = 8 \text{ В}$ ($r_2 = 1 \text{ Ом}$) ба муқовимати $R = 20 \text{ Ом}$ тавре ки дар расми 2.31 тасвир ёфтааст, пайвастанд. Афтиши шиддат дар муқовимати R чӣ қадар аст?

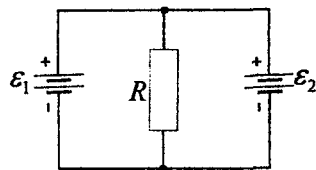
$$(U = 8,32 \text{ В})$$



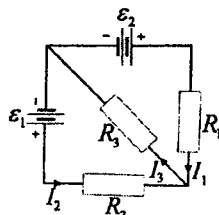
Расми 2.29



Расми 2.30



Расми 2.31



Расми 2.32

2.27. Завңчире, ки дар расми 2.32 тасвир ёфтааст, манбаъҳои ҚЭХ-ашон $\mathcal{E}_1 = 2,1 \text{ В}$, $\mathcal{E}_2 = 1,9 \text{ В}$ ва муқовиматҳои $R_1 = 45 \text{ Ом}$, $R_2 = R_3 = 10 \text{ Ом}$ -ро дарбар мегирад. Қувваҳои ҷараёнҳои I_1 , I_2 ва I_3 муайян карда шаванд.

$$(I_1 = 0,04 \text{ А}; I_2 = 0,01 \text{ А}; I_3 = 0,03 \text{ А})$$

2.28. Никелондудани маснуоти металли сатҳаш $S = 120 \text{ см}^2$ дар тӯли $t = 5 \text{ соат}$ бо ҷараёни қуввааш $I = 0,03 \text{ А}$ сурат гирифт. Ғафсии

кабати никел h муайян карда шавад. Ба эътибор гиред, ки массаи молии никели дувалента $M = 58,7 \cdot 10^{-3} \text{ кг/мол}$ ва зичии он $D = 8,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Адади Фарадсӣ $F = 9,648 \cdot 10^4 \text{ Кл/мол}$ мебошад.
($h = 15,5 \text{ мкм}$)

2.29. Барои тавассути электролиз ҳосил кардани $V = 2,5 \text{ л}$ гидрогени фишораш $p = 100 \text{ кПа}$ дар температураи $t = 25^\circ \text{C}$ чӣ қадар энергия сарф мешавад? Электролиз дар шиддати $U = 5 \text{ В}$ сурат мегирад ва ККФ-и дастгоҳ $\eta = 75\%$ мебошад. Эквиваленти электрохимии гидроген $K_H = 1,04 \cdot 10^{-8} \text{ кг/Кл}$, массаи молии он $M = 2 \cdot 10^{-3} \text{ кг/мол}$ ва доимии универсалии газ $R_0 = 8,31 \text{ Ҷ/(мол} \cdot \text{К)}$ буданашро ба эътибор гиред.
($W = 130 \text{ кҶ}$)

2.30. Ҳангоми электролизи об аз электролити ванна микдори электри $q = 10^3 \text{ Кл}$ мегузарад. Оксигени ҷудошуда таҳти фишори $p = 129 \text{ кПа}$ буда, ҳаҷми $V = 0,25 \text{ л}$ -ро ишғол менамояд. Температураи оксиген дар ин шароит чӣ қадар аст? Эквиваленти электрохимии оксиген $K_O = 8,3 \cdot 10^{-8} \text{ кг/Кл}$, массаи молии он $M = 32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/мол}$ ва доимии универсалии газ $R_0 = 8,31 \text{ Ҷ/(мол} \cdot \text{К)}$ буданаш ба эътибор гирифта шавад.
($T = 1500 \text{ К}$)

2.31. Бо таъсири ионизатор дар фазои байни рӯяҳои конденсатори ҳамвори ҳавоӣ, ки ба манбаии шиддаташ доимӣ васл аст, дар тӯли 1 с дар ҳар 1 м^3 ба қадри $2,5 \cdot 10^8$ ҷуфт ионҳои яквалентӣ ба вучуд оварда мешавад. Агар масоҳати ҳар як рӯяи конденсатор 10 см^2 ва фосилаи байни рӯяҳо 2 см бошад, қувваи ҷараёни сершуда чӣ қадар аст?
($8 \cdot 10^{-16} \text{ А}$)

2.32. Фарқи потенциалҳои байни абру замин ба 10^7 В мерасад. Агар микдори электри дар ин маврид ангишифта 200 Кл ва тӯли дурахшони барқ 10^{-6} с бошанд, иқтидори ҳангоми ҳар як барқзанӣ вусъатёфтаро муайян намоед.
($10^{15} \text{ Вт} = 10^9 \text{ МВт}$)

МАЙДОНҲОИ МАГНИТӢ

§3.1. Ҳодисаҳои магнитӣ

1. Магнит. Ақрабаки магнитӣ. Аз қадимулайём маълум будааст, ки чинсҳои кӯҳии аз маъдани оҳан (мувофики маълумоти ҳозира 31% оҳан ва 69% оксиген) таркибёфтаи аз назди шаҳри қадимии Магнесияи Осиёи Хурд дастрасшуда ҳамдигарро ҷазб менамоянд ва онҳо *магнит* ном гирифтаанд. Магнитҳо ҷисмҳои оҳаниро ба худ мекашанд, ҳамин аст, ки онҳоро ба тоҷикӣ оҳанрабо меноманд. Ҳар гуна магнит хоҳ наълшаклу хоҳ тахташакл бошанд, ду нӯг доранд, онҳоро *қутбҳои магнитӣ* меноманд. Қобилияти ҷозибавии магнитҳо маҳз дар қутбҳо зиёдтар зоҳир мегардад. Яке аз қутбҳо *шимоли* дигаре *ҷанубӣ* ном гирифтаанд, зеро магнити доимии сабуке, ки дар атрофи тақягоҳи нӯгтези бо маркази массаҳои мувофиқномада озодона гардиш хӯрда метавонад-*ақрабаки магнитӣ*-бо як нӯгаш дар ҳоли дар наздаш набудани магнитҳои дигари паркувват сӯйи қутби шимоли географии Замин ва аз ин рӯ қутби муқобил ба тарафи қутби ҷанубии он нигаронида мешавад. Қутбҳои магнитиро бо сарҳарфи суҳанҳои англисии North-шимоли-*N* ва South-ҷануб-*S* ишорат кардан маъмул гаштааст.

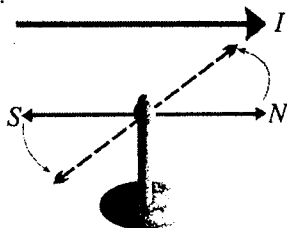
Ақрабаки магнитӣ қисми асосии асбоби муҳимтарини магнитӣ-*қутбнамо-компас* (аз суҳанҳои олмонию итолиёвӣ *бо қадам андоза кардан*) мебошад. Хотирнишон кардан бомаврид аст, ки дар таърих ихтироъкори қутбнамо сабт наёфтааст, вале дар маъхазҳои мансуб ба садаи XI оид ба қутбнамо истифода бурдани баҳрнавронони чинӣ маълумот оварда шудааст. Саёхатчиҳои машхури итолиёвӣ Марко Поло (1254-1324) гӯё қутбнаморо ба Аврупо оварда бошад. Лекин таърихшиносони аврупоии садаи XII кашфиёти қутбнаморо ба арабҳо нисбат додаанд.

Ҳанӯз дар замонҳои қадим медонистанд, ки қутбҳои ҳамноми магнитӣ ($N \rightarrow N$ ва $S \rightarrow S$) якдигарро тела медиҳанду қутбҳои гуногунон (N ва S) ҳамдигарро ҷазб менамоянд. Ҳамин аст, ки қутби ҷанубии магнитии Замин дар нимкураи шимоли ва қутби шимолии магнитии он дар нимкураи ҷанубӣ воқеъ гардидаанд, яъне қутбҳои геомагнитӣ бо қутбҳои географӣ ҳамчоя нестанд. Тавре ки дар пешгуфтори китоб зикр ёфт, магнити азимҷусса будани Замиро У.Гилберт дар китобаш «Дар бораи магнит, ҷисмҳои магнитӣ ва Замин-магнити бузург» собит намууда буд.

Холо муқаррар карда шудааст, ки меҳвари магнитии Замин нисбат ба меҳвари ҷарҳзании он ба қадри $11,5^\circ$ майл хӯрдааст ва онро *майли магнитӣ* меноманд. Масалан, ин майл барои шаҳри Москва $6,5^\circ$ -ро ташкил медиҳад. Қутби ҷанубии геомагнитӣ дар шимоли Канада ба қадри 1500 км дуртари қутби географӣ ҷойгир мебошад.

2. Ҳамбастагии ҳодисаҳои электромагнитӣ. Таҷрибаҳои Эрстед. То ибтидои садаи XIX назарияи ҷиддие доир ба табиати ҳодисаҳои магнитӣ ва алоқамандии онҳо бо ҳодисаҳои электрӣ пешниҳод нагардида буд. Азбаски магнит ба ҷисми зарядноки моддаш

гайрмагнитӣ таъсире надошт, ин ҳодисаҳо ба яқдигар новобаста пиндишта мешуданд. Вале кашфиёти профессори донишгоҳи Копенгаген (Дания) Х.Х. Эрстед (1777-1851) соли 1820 сеҳри ҳодисаҳои магнитиро барканд. Ӯ ҳангоми намоиши таъсироти ҳарорати ҷараёни электрӣ ба донишҷӯён ногаҳон мушоҳида намуд, ки акрабаки магнитии ноҳост дар назди ноқил ба он параллелан ҷойгирбуда (расми 3.1) баробари сар додани ҷараён майл хӯрда, сӯйи ноқил нигаронида мешавад ва бо қатъ ёфтани ҷараён он ба мавқеи аввалааш бармегардад.



Расми 3.1

Эрстед бо ин кашфиёташ аввало алоқаманд будани ҳодисаҳои электрию магнитиро, ки ба ҳамбастагии онҳо боварии қатъӣ дошт (хатто ҳашт сол пеш аз ин кашфиёташ дар ин бора масъалагузорӣ ҳам карда будааст) ошкор сохт ва минбаъд ба тадқиқотҳои ҷиддио асосноки доир ба табиати магнитҳову ҳамтаъсироти магнитии ҷараёнҳои электрӣ хидоят кард. Чунончӣ, олими фаронсавӣ А.М. Ампер (1775-1836) ҳамон соли 1820 муқаррар кард, ки ба нокили ҷараёндор аз ҷониби магнитҳои дойимӣ қувва таъсир менамояд ва он ҳоло *қувваи амперӣ* ном гирифтааст, инчунин ду нокили рости параллелии ҷараёндор дар ҳоли ҳамсамт будани ҷараёнҳо ҳамдигарро дар масофа ҷазб менамоянду дар мавриди антипараллелӣ раво будани ҷараёнҳо яқдигарро тела медиханд. Гузашта аз ин, Ампер ҳосиятҳои магнитҳои дойимиро бо мавҷудияти ҷараёнҳои молекулавӣ дар онҳо шарҳ дод. Агар ба хотир орем, ки мувофиқи назарияи муосир ҳосиятҳои магнитии моддаҳо бо электронҳои дар атрофи ядро даврзананда алоқаманд мебошанд, ба пешгӯиҳои Ампер дар ҳайрат мемонем.

3. Майдони магнитӣ. Хатҳои магнитӣ. Агар дар ягон нуктаи фазо ба акрабаки магнитӣ қувваҳои ба самти муайян нигаронида таъсир намоянд, мегӯянд, ки дар он ҷо майдони магнитӣ мавҷуд аст. Ба ин муносибат тасдиқ қардан равоост, ки дар атрофи магнитҳои дойимӣ ва ҷараёнҳои электрӣ майдони магнитӣ вучуд дорад ва ҳамтаъсироти онҳо тавассути майдони магнитӣ рӯй медиҳад.

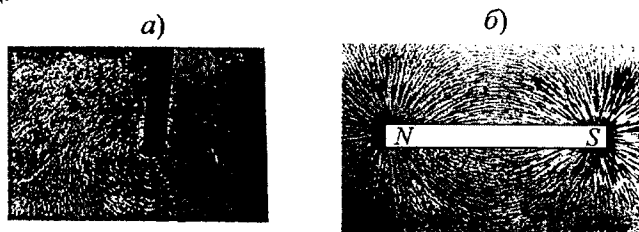
Акрабаки магнитӣ (чун заряди озмоишӣ дар майдони электрӣ) барои ошкор сохтани майдони магнитӣ хизмат мекунад. Рафтори акрабаки магнитӣ дар майдон имкон медиҳад, ки мафҳуми *хатҳои магнитӣ* ё худ *хатҳои қуввагӣ* ворид карда шавад. Ин хатҳо ба хатҳои шадидияти майдони электрӣ шабеҳанд, вале аз онҳо фарқи кулӣ доранд. Тавре ки зикр ёфта буд (ба 1.5 ниг.), хатҳои шадидияти майдони электростатикӣ аз зарядҳои мусбат ибтидо гирифта, дар

зарядҳои манфӣ тамом мешаванд ё ба беохирӣ мераванд. Бар ҳилофи ин, *хатҳои магнитӣ сарбастаанд*, яъне дар табиат зарядҳои магнитӣ вучуд надоранд; ягон далели таҷрибавие доир ба мавҷудияти зарядҳои магнитӣ ҳанӯз ёфт нашудааст.

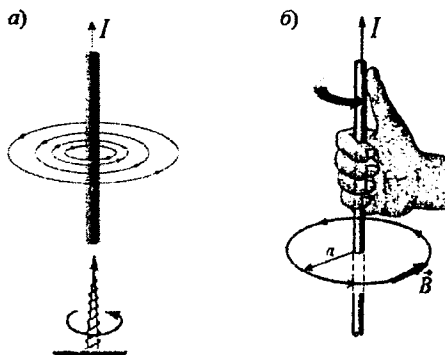
Бузургии асосии тавсифдиҳандаи майдонҳои магнитӣ *вектори индуксияи магнитӣ* ном гирифтааст. Ин вектор дар ҳар як нуқтаи хатҳои магнитӣ чун расанда самт мегирад ва ба қуввае мутаносиб мебошад, ки дар нуқтаи муайяни майдон ба қутби шимолии ақрабаки магнитии ниҳоят хурди дар он ҷойгирбуда таъсир менамояд ва шабеҳи вектори шадидияти майдони электрӣ мебошад. Ҳамин тариқ, вектори индуксия ба ҷонибе, ки қутби шимолии ақрабаки магнитии дар ҳар як нуқтаи хати магнитӣ ҷойгирбуда нигаронида мешавад, самт мегирад.

Ҳанӯз Эрстед ошкор сохта буд, ки ҳангоми нокили ҷараёндорро аз болои ақрабаки магнитӣ ҷойгир намудан қутби шимолии он ба як сӯй ва дар поёни ҳамин нокил ба самти муқобил гардонда мешавад. Яъне, дар атрофи нокили ҷараёндор ба ақрабаки магнитӣ қувваи гардишвар таъсир менамояд. Аз ин рӯ хатҳои магнитӣ сарбаста мебошанд ва самти муайян доранд. Ин хулосаро таҷрибаҳои дигар тасдиқ карданд. Олими фаронсавӣ Д.Ф. Араго (1786-1853) баъди ба ҷоп расидани натиҷаҳои таҷрибаҳои Эрстед (с. 1820) магнитнок шудани оҳансовҳои дар атрофи нокили ҷараёндор ва магнитҳои доимӣ пошдодаро ошкор сохт. Ҳамин буд, ки бо ёрии оҳансовҳо зоҳир гардондани хатҳои магнитӣ имконпазир шуд: ҳар як оҳансов чун ақрабаки магнитии министурӣ ба рафти хатҳои магнитӣ саф мекашад. Чунончӣ, дар расми 3.2 *а,б* ҷойгиршавии ин гуна оҳансовҳо дар атрофии милаи рости магнитӣ ва нокили рости ҷараёндор оварда шудааст.

Бо ёрии хатҳои магнитӣ майдонҳои магнитии дар атрофи ҷараёнҳои электрии гуногуншакл ва магнитҳои доимӣ мавҷудбуда ба тарзи аёнӣ омӯхта мешаванд. Масалан, дар расми 3.3 *а,б*, хатҳои қуввагии майдони магнитии нокили рости ҷараёндор оварда шудаанд.



Расми 3.2



Расми 3.3

Барои муайян кардани самти хатҳои магнитӣ қойидаҳои махсус пешниҳод гардидаанд.

1) *Қойидаи пармача*: агар пармачаро ба самти ҷараён рост карда, дастаи онро тавре гардиш диҳем, ки ҳаракати пешравини пармача ба самти ҷараён мувофиқ ояд, самти гардиши нуғи дастаи ҳаёлан аз нуқтаи муайяни майдон гузаранда рафти хати магнитиро дар ин нуқта нишон медиҳад (расми 3.3 а).

2) *Қойидаи дасти рост*: агар кафи дасти рост нокили ҷараёндорро дарбар гирад ва ангушти калон (нарангушт)-и росткарда сӯйи ҷараён гардонда шавад, он гоҳ ангуштҳои боқимондаи ин даст ба самти хатҳои магнитӣ мувофиқ меоянд (расми 3.3 б).

Ҳамин тарик, яке аз фазлҳои физика-магнетизм аз асрҳои миёна сарчашма гирифта, минбаъд ташаккул ёфт ва маълум гардид, ки он бо ҳодисаҳои электрӣ зич алоқаманд мебошад ва ин фазлро *электродинамика* номидан равоост.

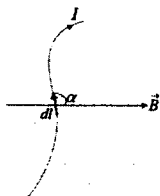
§ 3.2. Қувваи амперӣ

Аз таҷрибаҳои Эрстед бармеояд, ки ба ақрабаки магнитӣ аз ҷониби майдони магнитии ҷараён қувва таъсир мекунад ва он боиси майли ақрабақ мешавад. Табиист, ки ҳодисаи баръакс-таъсири майдони магнитӣ ба нокили ҷараёндор бояд вучуд дошта бошад. Дарвоқеъ, баъди таҷрибаҳои Эрстед дере нагузашта Ампер ин гуна ҳамаҷиҳатро ошкор кард. Ҳамин буд, ки қувваи аз ҷониби майдони магнитии магнити доимӣ ба нокили ҷараёндор таъсирбахш *қувваи амперӣ* номида мешавад. Ампер тавассути таҷрибаҳо с. 1826 хулоса гирифт, ки бузургии қувваи зикрфта ба қувваи ҷараёни ноқил, дарозии фазоли он-киتابи дар майдон воқеъгардидаи ноқил ва нисбат ба хатҳои магнитӣ чӣ тарз ҷойгир будани ин ноқил вобаста аст. Ба ин муносибат қуввае, ки аз ҷониби майдони магнитӣ ба элемент (ҷузъ)-и ҷараён Idl таъсир менамояд, чунин пешниҳод мешавад:

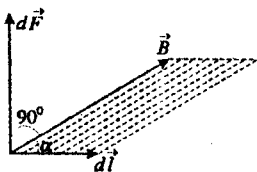
$$dF = BIdl \sin \alpha. \quad (3.1)$$

Ин таносуб чун *формулаи қувваи амперӣ* маъмул гаштааст ва онро баъзан *қонуни Ампер* низ меноманд. Дар ин формула B -

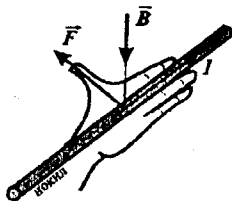
коэффициенты мутаносибӣ аст, ки индуксияи магнитӣ буданашро пештар хотиррасон карда будем, dl -китъаи хурди нокили чараёндор, α -кунчи байни самтҳои чараён ва вектори индуксияи магнитӣ, I -қувваи чараёни ноқил мебошанд (расми 3.4).



Расми 3.4



Расми 3.5



Расми 3.6

Дар майдонҳои якҷинса, ки дар ҳама нуктаҳои индуксияи магнитӣ ҳамон як қимат дорад ($B = \text{const}$) ва ҳатҳои магнитии он ба ҳам параллелан равонаанд, формулаи (3.1) чунин пешниҳод мешавад:

$$F = BIl \sin \alpha. \quad (3.2)$$

Қонуни Ампер дар шакли векторӣ намуди зерин мегирад:

$$d\vec{F} = I[d\vec{l} \times \vec{B}]. \quad (3.3)$$

Яъне, самти қувваи амперӣ мувофиқи зарби вектории $[d\vec{l} \times \vec{B}]$ муайян карда мешавад ва аз ин рӯ ба ҳамворие, ки векторҳои $d\vec{l}$ ва $\vec{B}$ ҷойгиранд, амудан равонааст (расми 3.5). Дар амалия барои муайян кардани самти қувваи амперӣ қойидаи махсус-қойидаи дасти чапро истифода мебаранд: дасти чапро тавре бояд ҷойгир кард, ки вектори индуксия $\vec{B}$ ба қафи он амудан ворид гардад, чор ангушти ростии ин даст самти чараёни нокилро нишон диҳанд, онгоҳ ангушти калон ба самти чараён таҳти кунчи рост раванбуда сӯйи қувваи амперӣ нигаронида мешавад (расми 3.6).

Дар мавриди $\alpha = 90^\circ$ будан модули қувваи амперӣ қимати зиёдтарин мегирад:

$$F_{\max} = BIl. \quad (3.4)$$

Аз ин ҷо модули индуксияи магнитӣ B -ро муайян кардан мумкин аст:

$$B = \frac{F_{\max}}{Il}. \quad (3.5)$$

Бо ин аломаташ вектори индуксияи магнитӣ шабеҳи вектори шадидияти майдони электрӣ ($|\vec{E}| = |\vec{F}|/q$) мебошад. Ҳамин аст, ки индуксияи магнитӣ бузургии асосии тавсифдиҳандаи қуввагии майдони магнитӣ ба ҳисоб меравад. Яъне, индуксияи магнитӣ бо қувваи зиёдтарине муайян карда мешавад, ки бо он майдони магнитӣ ба элементи воҳидии чараён ($I = 1 \text{ A}$, $dl = 1 \text{ м}$) таъсир менамояд.

Воҳиди индуксияи магнитӣ мувофиқи формулаи (3.5) муқаррар карда мешавад ва дар СИ он 1 тесла (мухтасар 1 Тл) мебошад, ки ба шарафи олими серб Н. Тесла (1856-1943) номгузорӣ шудааст; ӯ дар соҳаҳои электро- ва радиотехника корҳои намоён кардаву дар Аврупо, Амрико фаъолият дошт. 1 Тл -индуксияи нуктаи майдонест,

ки дар он ба элементи воҳидии чараён аз ҷониби майдони магнитӣ қувваи зиёдтарини ба 1 Н баробар таъсир менамояд. Бояд хотирнишон сохт, ки 1 Тл индуксияи хеле бузург аст; майдонҳои индуксияшон $8\text{--}10\text{ Тл}$ рекордӣ ҳисоб меёбанд. Индуксияи майдони магнитии Замин ҳамагӣ 50 мкТл мебошад.

§3.3. Таъсири майдони магнитӣ ба контури чараёндор

Рафтори контур (ё худ рамка)-ро муҳокима менамоям, ки шаклаш чоркунҷаи $abcd$ (тарафҳои $da = bc = l_1$ ва $ab = cd = l_2$) мебошад дар атрофи меҳвари OO_1 (расми 3.8, а) гардиш хурда метавонад. Агар аз контур чараёни қуввааш I -ро сар дода, онро дар майдони магнитии яқинсаи индуксияаш $\vec{B}$ ҷойгир намоям, ки хатҳои магнитӣ ба ҳамвори контур параллелан равона бошанд, мувофиқи қонуни Ампер (3.2) тарафҳои ad ва bc дучори таъсири ҷуфти қувваҳои

$$F_1 = F_2 = F_{\max} = BIl_2 \sin 90^\circ = BIl_2 \quad (3.6)$$

мешаванд. Вале ба тарафҳои ab ва cd -и контур ҳеҷ гуна қувва таъсир намекунад, зеро самти чараён бо самти вектори $\vec{B}$ мувофиқан кунҷҳои $\alpha_1 = 0^\circ$ ва $\alpha_2 = 180^\circ$ ташкил медиҳанду синуси ин кунҷҳо баробари сифр мебошад.

Тавре ки аз механика маълум аст, ҷуфти қувваҳои $\vec{F}_1$ ва $\vec{F}_2$ сабабгори ба вучуд омадани моменти ғардишоваре мешавад, ки модули онро бо формулаи:

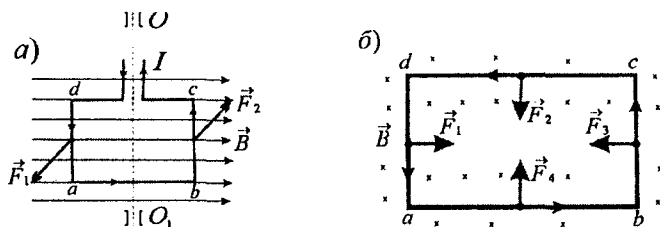
$$M = Fl_1 = BIl_1l_2 = BIS \quad (3.7)$$

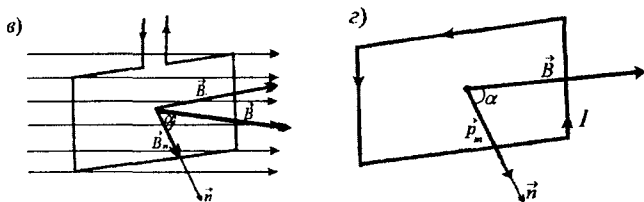
ҳисоб карда метавонем. Дар ин ҷо $S = l_1l_2$ - масоҳати контур аст.

Бузургии:

$$p_m = IS \quad (3.8)$$

моменти магнитии чараён ном дорад ва воҳиди он дар СИ $1\text{ А} \cdot \text{м}^2$ буданаш аз (3.8) бармеояд. Бояд хотирнишон сохт, ки моменти магнитии чараён бузургии векторӣ мебошад ва он чун нормал ба сатҳи контур S -равона асту бо ёрии қойиди пармача муқаррар карда мешавад: агар дастаи пармачаро ба рафти чараён гардонем, ҳаракати пешравии пармача ба самти вектори $\vec{p}_m$ рост меояд (расми 3.8,2).





Расми 3.8

Хамин тариқ, ба контури чараёндор дар мавриди ҳамвори он ба хатҳои магнитӣ параллелан ҷойгир шудан моменти гардишовари зиёдтарини:

$$M_{\max} = p_m B \quad (3.9)$$

таъсир менамояд. Ин формуларо барои муайян кардани индуксияи магнитӣ $\vec{B}$ низ истифода бурдан мумкин аст.

Дар ҳоли ҳамвори контури чараёндорро амудан бурида гузаштани хатҳои қуввагии майдони магнитӣ ба контур қувваҳои таъсир менамоянд, ки онро дучори деформатсия мегардонанд: контурро вобаста ба самти чараёнаш мефишоранд (расми 3.8, б) ё аз ҷор атрофаш мекашанд.

Дар мавриди умумӣ, вақте ки вектори $\vec{B}$ бо самти нормал ба сатҳи контур $\vec{n}$ кунҷи α ташкил медиҳад (расми 3.8, в), вектори $\vec{B}$ -ро ба ду ташкилдиханда: $B_{\parallel} = B \sin \alpha$ (он ба ҳамвори контур параллелан равона аст) ва $B_n = B \cos \alpha$ (ин ташкилдиханда аз рӯйи нормали $\vec{n}$ самт дорад) ҷудо карда, муайян намудан душвор нест, ки ташкилдихандаи ба ҳамвори контур параллелан равонабуда (чун дар расми 3.8, а) моменти гардишовари зеринро сабабгор мешавад:

$$M = p_m B_{\parallel} = p_m B \sin \alpha. \quad (3.10)$$

Ин формуларо ба тарзи векторӣ пешниҳод кардан мумкин аст:

$$\vec{M} = [\vec{p}_m \vec{B}] \quad (3.11)$$

Вектори $\vec{M}$ контурро тавре гардониданӣ мешавад, ки моменти магнитӣ $\vec{p}_m$ суйи вектори $\vec{B}$ майл хӯрад.

Кореро, ки барои ба кунҷи $d\alpha$ гардондани моменти магнитии контур иҷро мешавад, тавре ки аз механика маълум аст, бо формулаи:

$$\delta A = M d\alpha = p_m B \sin \alpha d\alpha = dW \quad (3.12)$$

муайян карда метавонем. Ин кор боиси тағйироти энергияи контури чараёндори дар майдони магнитӣ ҷойгирбуда мешавад. Бузургии энергияи контурро тавассути ҳисоби интегралӣ ёфтан мумкин аст:

$$W = \int_0^{\alpha} p_m B \sin \alpha d\alpha = -p_m B \cos \alpha = -\vec{p}_m \vec{B} \quad (3.12)$$

Яъне, контури чараёндори дар майдони магнитӣ воқеъгардида дорои энергия мебошад ва бузургии он бо ҳосили зарби скалярии векторҳои $\vec{p}_m$ ва $\vec{B}$ бо аломати минус муайян карда мешавад.

Хотирнишон кардан бамаврид мебошад, амали аксар муҳаррир (мотор)-ҳои электрӣ, инчунин *асбобҳои* андозагирии электрӣ *системаашон* ба ном *магнитоэлектрӣ* ба таъсири гардишovar майдони магнитӣ ба контури ҷараёндор асос ёфтааст.

§ 3.4. Қонуни Био – Савар – Лаплас

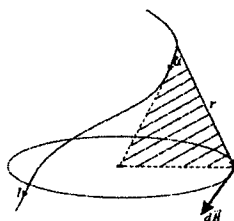
Баъди кашфиёти Эрстед майдони магнитии ҷараёнҳои гуногу босуръат мавриди тадқиқ қарор ёфт. Чунончӣ, олимони фаронсавӣ Ж.Б. Био (1774-1862) ва Ф. Савар (1791-1841) майдони магнитиро, ки ҷараёнҳои ростхатта, дойравӣ, галтаки симини ҷараёндор ва ғайр дар ҳаво ба вуҷуд меоранд, тадқиқ намуданд. Дар асоси таҷрибаҳои сершумор онҳо хулоса гирифтанд, ки индуксияи майдони нокил ҷараёндор ба қувваи ҷараён, шакл ва андозаҳои нокил мавқеи нуқтае, ки дар он вектори индуксияи магнитӣ муайян карда мешавад, инчунин ҳосиятҳои магнитии муҳити атрофи нокил вобаста мебошад.

Натиҷаҳои таҷрибаҳои Био ва Саварро ситорашинос математик ва физики машҳури фаронсавӣ П. Лаплас (1749 - 1827) ҷамъбаст намуд. Ӯ ҳислати векторӣ доштани индуксияи магнитиро ба эътибор гирифта, барои майдони магнитӣ низ раво будани принсипи суперпозитсияро пешниҳод кард: индуксияи натиҷавии майдони магнитии якҷанд ҷараёнҳо ба ҳосили ҷамъи вектории индуксияи магнитии ҷараёнҳои алоҳида баробар аст. Чунончӣ, индуксияи натиҷавии майдони элементҳои ҷараён:

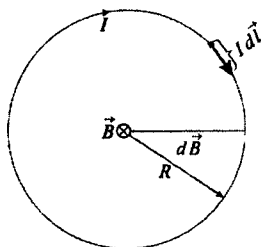
$$\vec{B} = \Delta\vec{B}_1 + \Delta\vec{B}_2 + \dots + \Delta\vec{B}_n = \sum_{i=1}^n \Delta\vec{B}_i \quad (3.14)$$

Мувофиқи қонуне, ки ҳамчун *қонуни Био-Савар-Лаплас* маъмул гаштааст, индуксияи магнитии элементҳои ҷараён $Id\vec{l}$ дар масофаи r аз он (расми 3.8) бо формулаи зерин муайян карда мешавад:

$$d\vec{B} = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{Idl \sin \alpha}{r^2} \quad (3.15)$$



Расми 3.8



Расми 3.9

Дар он α -кунҷи байни самти $Id\vec{l}$ ва радиус-векторе, ки аз ин элемент то нуқтаи дар он вектори $d\vec{B}$ муайяншаванда фурувардан мебояд, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/A}^2$ (минбаъд нишон медиҳем, ки номи ин воҳид Хн/м мебошад)-дойимии магнитист, μ -коэффитсенти алоҳида аст, ки ҳосиятҳои магнитии муҳити атрофи нокили ҷараёндорро тавсиф

медихад (ниг. §4.12), масалан дар вакуум (амалан дар ҳаво) $\mu = 1$ мебошад.

Формулаи (3.15) ба тарзи векторӣ намуни зерин мегирад:

$$d\vec{B} = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{I[d\vec{l} \times \vec{r}]}{r^3}. \quad (3.16)$$

Аз ин формула (бо дар назардошти зарби вектории $I d\vec{l}$ ва $\vec{r}$) бармеояд, ки вектори $d\vec{B}$ ба ҳамвории дар он векторҳои зарбшаванда ҷойгирбуда амудан равона аст.

Барои тавсифи майдони магнитӣ ба ғайр аз вектори индуксия $\vec{B}$ бузургии ёридиҳандаи ба ном *шадидияти майдони магнитӣ* $\vec{H}$ низ истифода мешавад, ки дар муҳитҳои якҷинса бо вектори $\vec{B}$ ҳамсамт буда, бо он таносуби зерин дорад:

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu\mu_0} \quad (3.17)$$

ё худ

$$\vec{B} = \mu\mu_0 \vec{H} \quad (3.18)$$

Фарқияти $\vec{H}$ ва $\vec{B}$ дар он аст, ки шадидият ба хосиятҳои магнитии муҳити атрофи нокили ҷараёндор вобаста несту бо дигар хислатҳояш шабеҳи вектори $\vec{B}$ мебошад. Ҳамин аст, ки формулаҳои (3.15) ва (3.16) барои шадидият намудҳои соддатар мегиранд:

$$dH = \frac{Idl \sin \alpha}{4\pi r^2}; \quad (3.19)$$

$$d\vec{H} = \frac{I[d\vec{l} \times \vec{r}]}{4\pi r^3}. \quad (3.20)$$

Аз (3.19) бармеояд, ки *воҳиди H* дар СИ 1 А/м мебошад.

Акнун якҷанд намунаҳои татбиқи амалии қонуни Био-Савар-Лапласро баррасӣ менамоем.

1. Майдони магнитии ҷараёни дойравӣ дар марказаш (расми 3.9). Дар ин маврид радиус-векторе, ки аз элементҳои дилҳои $I d\vec{l}$ ба маркази ҷараёни дойравӣ фуруварда мешавад, ба ин элемент амуд аст ($\alpha = 90^\circ$). Ғайр аз он, тамоми векторҳои $d\vec{B}$ ба ҳамвории дойраи ҷараён амудан (дар мисоли расми 3.9 мавриди ба рафти ғашти акрабаки соат самт гирифтани ҷараён $d\vec{B}$ -ҳо аз мо ба ҳамвории нақша) равонаанд. Аз ин рӯ, амали ҷамъи векторҳо бо ҷамъи модулиҳои онҳо иваз карда ҳисоби интегралиро истифода бурдан раво аст ($r = R$):

$$B = \int dB = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{I}{R^2} \int_0^{2\pi R} dl = \mu\mu_0 \frac{I}{2R}.$$

Ҳамин тарик, индуксияи майдони магнитии ҷараёни дойравии радиусаш R дар маркази он бо формулаи

$$B = \mu\mu_0 \frac{I}{2R} \quad (3.21)$$

муайян карда мешавад, аз ин рӯ шадидияти майдони магнитии ин гуна ҷараён дар марказаш:

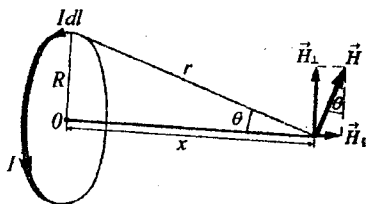
$$H = \frac{I}{2R} \quad (3.22)$$

ва дар мавриди аз N -то печак иборат будани ғалтаки ҷараёнҳои дойравӣ:

$$H = \frac{NI}{2R} \quad (3.23)$$

мебошад. Аз (3.22) бар меояд, ки 1 А/м-шадидияти майдони ҷараёни дойравии қуввааш 1 А ва радиусаш $R = 0,5$ м дар маркази ин ҷараён аст.

2. Майдони магнитии ҷараёни дойравӣ дар меҳвараш. Акнун шадидияти майдони магнитии ҷараёни дойравии радиусаш R -ро дар меҳвараш дар масофаи x аз он муайян менамоем (расми 3.10).



Расми 3.10

Шадидияти майдоне, ки элементи ҷараён Idl дар масофаи r аз он дар меҳвар ба вуҷуд меорад, мувофиқи (3.19):

$$dH = \frac{Idl \sin \alpha}{4\pi r^2} \quad (3.24)$$

аст. Агар ба эътибор гирем, ки дар ин маврид $\alpha = 90^\circ$ ва радиус-вектор r дар масофаи x аз маркази ҷараён ҳамон як кимат дораду бо меҳвар кунчи θ -ро ташкил медиҳад, яъне

$$x = r \cos \theta; \quad x = R / \sin \theta; \quad r = \sqrt{x^2 + R^2}. \quad (3.25)$$

Масофаҳои x , r ва R бетағйиранд, аз ин рӯ вектори $d\vec{H}$ -ро ба ду ташкилдиханда ҷудо карда метавонем:

$$d\vec{H} = d\vec{H}_{\parallel} + d\vec{H}_{\perp}$$

ва

$$dH_{\perp} = dH \sin \theta; \quad dH_{\parallel} = dH \cos \theta$$

мебошанду $d\vec{H}_{\parallel}$ ба меҳвари ҷараён параллелан, $d\vec{H}_{\perp}$ ба ин меҳвар амудан равонаанд. Ғайр аз он, ба ҳар як элементи Idl -и ҷараён элементи симметрии Idl' мавҷуд аст, ки дар натиҷа:

$$\sum d\vec{H}_{\perp} = 0; \quad \sum d\vec{H}_{\parallel} = \vec{H}$$

мешавад ва $\vec{H}$ ба рафти меҳвар самт мегирад. Бо дарназардошти (3.23) ва (3.24) барои шадидияти майдони магнитӣ чунин баробарӣ ҷой дорад:

$$H = \int dH = \int dH \cos \theta = \frac{I}{4\pi r^2} \cos \theta \int_0^{2\pi R} dl =$$

$$= \frac{I}{4\pi r^2} \frac{x}{R} 2\pi R = \frac{I}{2r^3} R = \frac{I}{2R \sqrt{\left(1 + \frac{x^2}{R^2}\right)^3}},$$

яъне,

$$H = \frac{I}{2R \sqrt{\left(1 + \frac{x^2}{R^2}\right)^3}} \quad (3.25)$$

ва

$$B = \mu\mu_0 \frac{I}{2R \sqrt{\left(1 + \frac{x^2}{R^2}\right)^3}} \quad (3.26)$$

буданаш маълум мегардад. Дарвоқеъ, дар маркази ҷараён ($x=0$) аз (3.25) ва (3.26) формулаҳои (3.21) ва (3.22) бармеоянд.

Дар мавриди $x \gg R$ будан $1 + \frac{x^2}{R^2} \approx \frac{x^2}{R^2}$ қабул кардан равоаст, он гоҳ формулаҳои зерин ҳосил мешаванд:

$$H = \frac{IR^2}{2x^3}; \quad (3.27)$$

$$B = \mu\mu_0 \frac{IR^2}{2x^3}. \quad (3.28)$$

Бо дарназардошти (3,8) формулаҳои (3.27) ва (3,28) – ро ба намудҳои зерин пешниҳод кардан мумкин аст:

$$H = \frac{p_m}{2\pi x^3}; \quad (3.30)$$

ва

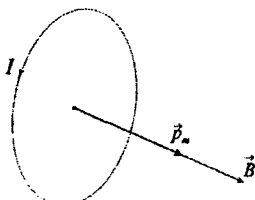
$$B = \mu\mu_0 \frac{p_m}{2\pi x^3}. \quad (3.31)$$

Моменти магнитии ҷараён $\vec{p}_m$ чун векторе доништа мешавад, ки самти онро мутобиқи қойидаҳои дасти рост ё пармача муайян карда метавонем (расми 3.11) ва он бо вектори $\vec{B}$ ҳамсамт буданаш маълум мегардад. Аз ин рӯ дар мавриди $x \gg R$ формулаҳои (3.30) ва (3.31) - ро дар шакли векторӣ низ пешниҳод карда метавонем:

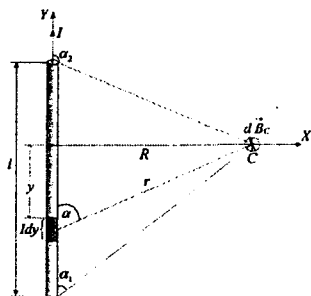
$$\vec{H} = \frac{\vec{p}_m}{2\pi x^3}; \quad (3.32)$$

$$\vec{B} = \mu\mu_0 \frac{\vec{P}_m}{2\pi x^3}. \quad (3.33)$$

Ин формулаҳо шабеҳи шадидият ва индуксияи майдони электрии дипол буданашонро пайхас кардан мумкин аст (ниг §1.4).



Расми 3.11



Расми 3.12

3. Майдони магнитии чараёни ростхатта. Аввало майдони магнитии нокили ростхаттаи чараёндори дарозиаш l -ро дар нуктаи C , ки аз нокил дар масофаи R воқеъ гардидааст, муҳокима менамоем (расми 3.12).

Пеш аз ҳама бояд ба эътибор гирифт, ки вектори индуксия (шадидият)-и майдони магнитии тамоми элементҳои чараёни ростхатта ба вучуд оваранда ба ҳамвории нақша (дар мавриди аз поён ва боло ба рафти меҳвари Y нигарон будани чараён) амудан (аз мо) равона мебошад (дар расми 3.12 $\vec{B}_c$ дар нуктаи C бо дойирачаи салибдор нишон дода шудааст). Аз ин рӯ бузургии вектори $d\vec{B}$ дар нуктаи C , ки элементи чараён Idy ба вучуд меорад, мувофиқи қонуни Био-Савар-Лаплас:

$$dB = \mu\mu_0 \frac{Idy \sin \alpha}{4\pi r^2}$$

мебошад.

Азбаски ҳама $d\vec{B}$ -ҳои тамоми элементҳои чараёнҳои нокили дарозиаш l ба ҳамон як сӯ (аз мо амудан сӯи ҳамвории нақша) равонаанд, модули вектории натиҷавӣ $\vec{B}$ -ро тавассути ҳисоби интегралӣ муайян кардан равоост:

$$B = \int_0^l dB = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi} \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \frac{dy \sin \alpha}{r^2}.$$

Акнун ба назар мегирем, ки $y = \frac{R}{\tan \alpha} = R \cot \alpha$; $dy = -\frac{R}{\sin^2 \alpha} d\alpha$; $r = \frac{R}{\sin \alpha}$; мебошанд, ифодаи таҳтиинтегралӣ:

$$\frac{dy \sin \alpha}{r^2} = \frac{-\frac{R}{\sin^2 \alpha} d\alpha \sin \alpha}{\frac{R^2}{\sin^2 \alpha}} = -\frac{\sin \alpha}{R} d\alpha$$

буданаш маълум мегардад, аз ин рӯ

$$B = -\frac{\mu\mu_0 I}{4\pi} \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \frac{\sin \alpha}{R} d\alpha = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi R} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2)$$

аст.

Хамин тарик, индуксияи магнитии қитъаи ноқили дарозинаш l , қувваи ҷараёнаш I дар масофаи R аз ин ноқил бо формулаи:

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi R} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2) \quad (3.34)$$

муайян карда мешавад.

Дар мавриди ҷараёни росхаттаи беохир $\alpha_1 \rightarrow 0^\circ$ ва $\alpha_2 \rightarrow 180^\circ$ ($\cos \alpha_1 = 1$; $\cos \alpha_2 = -1$) ва аз ин рӯ:

$$B = \mu\mu_0 \frac{I}{2\pi R}; \quad (3.35)$$

$$H = \frac{I}{2\pi R} \quad (3.36)$$

мебошанд.

§3.5. Ҳамтаъсироти ҷараёнҳои параллелӣ

Тавре ки зикр ёфт (§3.1), А. Ампер с. 1820 тавассути таҷрибаҳо ҳамтаъсироти ҷараёнҳои рости параллелиро ошкор сохт: ду ноқили рости параллелии ҷараёндор ҳангоми ҳамсамт будани ҷараёнҳо (расми 3.13) ба якдигар ҷазб мешаванду дар мавриди ҷараёнҳоро муқобилсамт равона кардан ҳамдигарро тела медиҳанд. Ў с. 1826 қонуни ҳамтаъсироти ҷараёнҳои параллелиро муқаррар намуд.

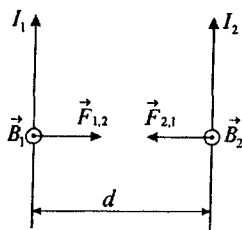
Бино ба ақидаи Ампер, индуксияи майдони магнитии ҷараёни I_1 дар он ҷое, ки ҷарёни I_2 воқеъ гардидааст (расми 3.13), мувофиқи (3.35):

$$B_1 = \mu\mu_0 \frac{I_1}{2\pi d} \quad (3.37)$$

мебошад, ки дар он d -фосилаи байни ҷараёнҳост (вектори $\vec{B}_1$ дар асоси қойидаи дасти рост аз мо амудан ба ҳамвории нақша самт мегирад). Ин майдон ба қитъаи ноқили ҷараёндори дарозинаш l -и қувваи ҷараёнаш I_2 мувофиқи (3.4) бо қувваи зиёдтарини:

$$F_{2,1} = B_1 I_2 l \quad (3.38)$$

таъсир мекунад, ки ҳангоми ҳамсамт будани ҷараёнҳо (расми 3.13) мутобиқи қойидаи дасти чап (§3.2) сӯйи ҷараёни I_1 равона мебошад (яъне қувваи ҷозиба аст).



Расми 3.13

Айнан ҳамин тарз, ба китъаи дарозиаш l -и чараёни I_1 аз ҷониби майдони магнитии чараёни I_2 қувваи зиёдтарини:

$$F_{1,2} = B_2 I_1 l \quad (3.39)$$

таъсир менамояд, ки сӯйи чараёни I_2 равона мебошад ва дар он B_2 -индуксияи майдони магнитии чараёни I_2 дар он ҷое, ки чараёни I_1 воқеъ гардидааст:

$$B_2 = \mu \mu_0 \frac{I_2}{2\pi d} \quad (3.40)$$

мебошад.

Ифодаи (3.37)-ро ба (3.38) ва (3.39)-ро ба (3.40) гузошта, бузургии қувваҳои ҷозибавӣ чараёнҳои параллелиро муайян карда метавонем:

$$F = F_{2,1} = F_{1,2} = \mu \mu_0 \frac{I_1 I_2}{2\pi d} l. \quad (3.41)$$

Дар натиҷа маълум мешавад, ки дар мавриди ҳамтаъсироти магнитии чараёнҳои параллелӣ қонуни сеюми Нютон ҷой дорад.

Ба хонанда тавсия медиҳем, ки ҳангоми муқобилсамт будани чараёнҳои I_1 ва I_2 ҳамин қадар қувваҳои таладихӣ таъсир карданашонро муайян намояд ва шарҳ диҳад.

Ҳамин аст ифодаи математикӣ қонуни ҳамтаъсироти чараёнҳои параллелӣ (3.41), ки Ампер муқаррар карда буд.

Маҳз мувофиқи қонуни ҳамтаъсироти чараёнҳои параллелӣ (3.41) яке аз воҳидҳои асосии системаи Байналмилалӣ воҳидҳо (СИ)-1 ампер (мухтасар 1 А) муқаррар карда мешавад:

1 А қувваи чараёни тағйирнаёбанда аст, ки аз ду ноқили беохирӣ бурришгоҳи арзиашон дойравии ниҳоят хурд, ки аз якдигар дар вакуум ($\mu=1$) дар фосилаи 1 м ҷойгиранд, гузашта қувваи ҳамтаъсироти магнитии бузургӣаш $2 \cdot 10^{-7}$ Н-и ба ҳар як метри дарозии ноқилҳо мувофиқ меомадаро ба вуҷуд меорад.

Таърифи воҳиди қувваи чараён дар СИ имкон медиҳад, ки қимати дойимии магнитӣ μ_0 муайян карда шавад. Дарвоқеъ, агар ҳангоми $I_1 = I_2 = 1$ А, $d = 1$ м, $\mu = 1$, $F/l = 2 \cdot 10^{-7}$ Н/м буданаширо ба эътибор гирем, маълум кардан душвор нест, ки мувофиқи (3.41):

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Н} / \text{А}^2 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Хн} / \text{м}$$

мебошад ва дар ин ҷо ҳенри (Хн)-воҳиди бузургии ба ном индуктивият буданаширо минбаъд муайян хоҳем кард.

Мисоли 3.1. Дар нӯғҳои ду сими борик нокили росхаттаи дарозииаш 20 см ва массааш 10 г овезон аст. Хатҳои майдони магнитии якҷинсаи индуксияш 0,25 Тл шокулан нокилро бурида мегузаранд (расми 3.14). Агар аз нокил ҷараёни қуввааш 2 А сар дода шавад, он аз самти шокулӣ ба кадом қунҷи α майл меҳӯрад? Шитоби афтиши озод $g = 10 \text{ м/с}^2$ қабул карда шавад.

Маълумот:

$m = 10 \text{ г} = 10^{-2} \text{ кг}$ $AB = l = 0,2 \text{ м}$ $B = 0,25 \text{ Тл}$ $I = 2 \text{ А}$ $\alpha = ?$

Ҳал

Ба нокили ҷараёндори AA_1 қувваи вазнинии $F_n = mg$ (аз рӯи хатти шокулӣ амудан ба поён), қувваи уфуқан равоншудаи амперии $F_r = BIl$ ва қувваи тарангии симҳо F_T таъсир мекунанд. Дар натиҷа нокили AA_1 аз самти шокулӣ

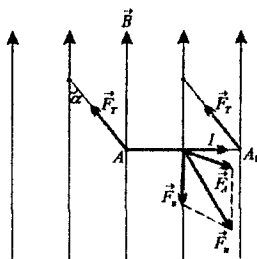
(вертикалӣ) қадре майл меҳӯрад, ки қувваи натиҷавии $\vec{F}_n = \vec{F}_g + \vec{F}_T$ қувваҳои тарангиро ба мувозанат оварад. Дар ин вазъият қувваҳои натиҷавӣ $\vec{F}_n$ ва $\vec{F}_T$ дар як ҳамворӣ меҳобанд. Ҳамин аст, ки:

$$\operatorname{tg} \alpha = F_A / F_n$$

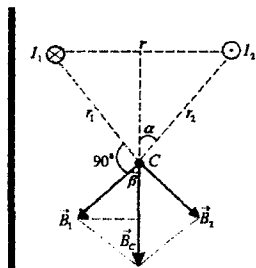
мешавад. Аз ин ҷо

$$\alpha = \operatorname{arctg} \left(\frac{F_A}{F_n} \right) = \operatorname{arctg} \left(\frac{BIl}{mg} \right) = \operatorname{arctg} \left(\frac{0,25 \text{ Тл} \cdot 2 \text{ А} \cdot 0,2 \text{ м}}{10^{-2} \text{ кг} \cdot 10 \text{ м/с}^2} \right) = \operatorname{arctg} 1 = 45^\circ$$

Ҷавоб: $\alpha = 45^\circ$.



Расми 3.14



Расми 3.15

Мисоли 3.2. Аз ду нокили беинтиҳои параллелии фосилаи байнашон 20 см ҷараёнҳои муқобилсамти қувваашон баробари 50 А мегузаранд. Индуксияи майдони магнитии ҷараёнҳоро дар нуқтае муайян намоед, ки аз ҳар ду ҷараён дар масофаҳои баробари 17 см ҷойгир аст.

Маълумот:

$$r = 20 \text{ см}$$

$$r_1 = r_2 = 17 \text{ см}$$

$$I = I_1 = I_2 = 50 \text{ А}$$

$$B - ?$$

Ҳал

Дар мавриди чараёнҳо чун дар расми 3.15 тасвирёфта равона будан векторҳои индуксияи майдонҳои ин чараёнҳо ба $\vec{r}_1$ ва $\vec{r}_2$ амудан самт мегиранд ва модулан:

$$B_1 = B_2 = \mu_0 \frac{I}{2\pi r_1} = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{50}{2\pi \cdot 0,17} \text{ Тл} = 5,88 \cdot 10^{-5} \text{ Тл} = 58,8 \text{ мкТл}$$

мебошанд. Аз расми 3.15 пайдост, ки

$$\sin \alpha = \frac{r/2}{r_2} = \frac{r}{2r_2} = \frac{20 \text{ см}}{2 \cdot 17 \text{ см}} = 0,5882$$

ва аз ин рӯ $\alpha \approx 36^\circ$ мебошад. Гузашта аз ин, кунчи $\beta = 180 - (90^\circ + 36^\circ) = 54^\circ$ аст. Азбаски ΔB_1CB_2 баробарпахлӯ мебошад, таносуби зерин ҷой дорад:

$$\frac{B_2/2}{B_1} = \cos \beta,$$

Аз ин рӯ:

$$B_2 = 2B_1 \cos 54^\circ = 2 \cdot 58,8 \cdot 0,5882 \text{ мкТл} = 69,12 \text{ мкТл}.$$

Ҷавоб: $B_2 = 69,12 \text{ мкТл}$.

Мисоли 3.3. Ду нокили ростхаттаи ба ҳам амуд дар масофаи 20 см аз якдигар ҷойгиранд (расми 3.16): нокили якум (қувваи чараёнаш $I_1 = 1,5 \text{ А}$) дар ҳамвори нақша хобидаасту ба поён самт дорад, нокили дуюм (қувваи чараёнаш $I_2 = 4 \text{ А}$) ба ин ҳамворӣ аз мушоҳид амудан равона аст. Индуксияи натиҷавии майдони магнитии чараёнҳо дар миёнҷойи фосилаи байнашон муайян карда шавад.

Маълумот:

$$b = 20 \text{ см} = 0,2 \text{ м}$$

$$I_1 = 1,5 \text{ А}$$

$$I_2 = 4 \text{ А}$$

$$B - ?$$

Ҳал

Аз нуктае, ки дар он индуксияи натиҷавиро муайян кардан лозим аст, хатҳои қуввагии майдони ҳар як чараёро мегузaronем,

(ёдрас мешавем, ки хатҳои қуввагии майдони магнитии ростчараён даврашакли марказашон дар нокили чараёндор воқеъ мебошад ва ҳамвориашон ба ин чараёнҳо амуданд). Мувофиқи қоидаи пармача ё дасти рост самти он хатҳо ва аз ин рӯ самти векторҳои индуксияи майдони ҳар як чараёро муқаррар менамоем. Дар мавриди расми 3.16 вектори $\vec{B}_1$ ба ҳамвори нақша амудан сӯи мушоҳид ва $\vec{B}_2$ ба

боло параллелан ба нокили якум равонаанд. Мувофиқи принципи суперпозитсия:

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2.$$

Азбаски $\vec{B}_1 \perp \vec{B}_2$ мебошад ва $B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2}$ шуданастро ба эътибор мегирем. Мувофиқи (3.35) бо дарназардошти $\mu = 1$ (дар шартӣ масъала оид ба муҳити атрофи ноқилҳо ишорате нест ва барои аксари муҳитҳои гайриферромагнитӣ $\mu \approx 1$ пиндоштан равоаст); инчунин $R = b/2$:

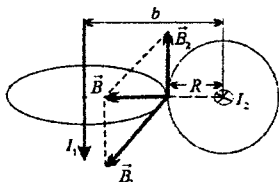
$$B_1 = \mu_0 \frac{I_1}{2\pi R} = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{I_1}{2\pi(b/2)} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 1,5}{0,1} \cdot 10^{-7} \text{ Тл} = 6 \text{ мкТл};$$

$$B_2 = \mu_0 \frac{I_2}{2\pi(b/2)} = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{I_2 \cdot 2}{b \cdot 2\pi} = \frac{4 \cdot 2}{0,1} \cdot 10^{-7} \text{ Тл} = 8 \text{ мкТл}.$$

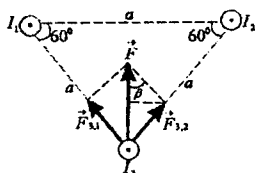
Аз ин рӯ

$$B = \sqrt{36 + 64} \text{ мкТл} = 10 \text{ мкТл}.$$

Ҷавоб: $B = 10 \text{ мкТл}$.



Расми 3.16



Расми 3.17

Мисоли 3.4. Се нокили параллелӣ, ки аз онҳо чараёнҳои қувваашон баробари $I = 10 \text{ А}$ аз қуллаҳои секунҷаи мунтазами тарафҳояш $a = 5 \text{ см}$ мегузаранд. Дар мавриди ба як сӯ раво будани чараёнҳо ҳар як чараён аз ҷониби ду чараёни дигар дучори чӣ қадар қувваи ҳамтаъсиботи магнитӣ мешавад?

Маълумот:

$$\begin{array}{l} I_1 = I_2 = I_3 = I = 10 \text{ А} \\ a_1 = a_2 = a_3 = a = 5 \text{ см} = 5 \cdot 10^{-2} \text{ м} \\ F - ? \end{array}$$

Ҳал

Дар мавриди ба як сӯ раво будани чараёнҳо, тавре ки дар § 3.5 зикр ёфт, дар байни чараёнҳои қувваҳои ҳамтаъсиботи магнитии ҷозиба ба вучуд меоянд.

Масалан, ба чараёни I_3 (расми 3.17) қувваҳои $\vec{F}_{3,1}$ ва $\vec{F}_{3,2}$ таъсир мекунанд, ки бо сабаби баробартараф будани секунҷа, бузургии онҳо ба ҳам баробаранд:

$$F_{ij} = F_{3,1} = F_{3,2} = \mu_0 \frac{I_2 I_3}{2\pi a} = \mu_0 \frac{I^2}{2\pi a} = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Хн} \frac{100 \text{ А}^2}{2\pi \cdot 5 \cdot 10^{-2} \text{ м}} = \frac{2}{5} \cdot 10^{-3} \text{ Н} = 0,4 \text{ мН}.$$

Ин кувваҳо нисбат ба якдигар тахти кунҷи 60° равонаанд ва кувваи натиҷавӣ диагонали параллелограмме мебошад, ки тарафҳои он ду кувваанд. Аз ин рӯ кувваи натиҷавиро бо формулаи:

$$\frac{F/2}{F_{ij}} = \cos \beta$$

муайян карда метавонем. Аз расми 3.17 хувайдостки $\beta = 30^\circ$ мебошад. Пас,

$$F = 2F_{ij} \cos 30^\circ = 2 \cdot 0,4 \cdot 0,866 \text{ мН} \approx 0,7 \text{ мН}$$

аст.

Ҷавоб: $F \approx 0,7 \text{ мН}$.

Мисоли 3.5. Печакҳои квадратшакли тарафҳои a бо нокили рости беинтиҳо дар як ҳамворӣ тавре ҷойгир аст, ки ду тарафи печак ба нокили рости параллеланду тарафи ба нокил наздиктаринаш дар фосилаи a дарозии тарафи a баробар воқеъ мебошад. Аз печак ва нокил ҷараёнҳои кувваашон баробари 1 кА мегузаранд (расми 3.18). Муайян бинмоед, ки ба ин печак аз ҷониби майдони магнитии нокили беинтиҳо дароз чӣ қадар кувва таъсир мерасонад.

Маълумот:

$$\begin{array}{l} I_1 = I_2 = I = 10^3 \text{ А} \\ x_1 = a \\ x_2 = 2a \\ F - ? \end{array}$$

Ҳал
Аз ҷониби майдони магнитии нокили беинтиҳо, ки индуксияш:

$$B = \mu_0 \frac{I}{2\pi x}$$

мебошад, мувофиқи (3.1) ба

тарафи 1-2-и печак (расми 3.18) кувваи ҷозибавии амперии:

$$F_1 = IBa = I^2 \mu_0 \frac{a}{2\pi a} = \mu_0 \frac{I^2}{2\pi}$$

ба тарафи 3-4 кувваи теладиҳандаи:

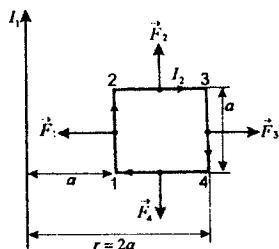
$$F_3 = IBa = I \mu_0 \frac{Ia}{2\pi \cdot 2a} = \mu_0 \frac{I^2}{4\pi}$$

таъсир менамоянд. Аз ин рӯ кувваи натиҷавӣ:

$$F = F_1 - F_3 = \mu_0 \frac{I^2}{2\pi} - \mu_0 \frac{I^2}{4\pi} = \mu_0 \frac{I^2}{4\pi} = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{(10^3)^2}{4\pi} \text{ Н} = 0,1 \text{ Н}$$

мебошад.

Ба тарафҳои 2-3 ва 4-1 аз ҷониби майдони магнитии нокили дароз кувваҳои баробар, вале муқобилсамти $F_2 = -F_4$ ё худ $F_2 + F_4 = 0$ таъсир мекунанд, ки якдигарро ба мувозинат меоваранд.



Расми 3.18

Ҷавоб: $F = 0,1 \text{ Н}$

§3.6. Қувваи лоренсӣ

Дар майдони магнитӣ ба нокили чараёндор қувваи амперӣ таъсир мекунад чараёнро дар ин нокил ҳаракати бонизоми зарраҳои заряднок ташкил медиҳад, пас қувваеро дарёфтан мумкин аст, ки аз ҷониби майдони магнитӣ ба зарраи алоҳидаи заряднок ҳаракатманди зарядаш q ва суръати ҳаракаташ $\vec{v}$ таъсир мекунад. Дарвоқеъ, зарраи суръаташ $\vec{v}$ дарозии dl -и нокили чараёнро дар тӯли вақти $dt = dl / v$ мепаймояд ва дар ин муддат аз бурришгоҳи арзии нокил N -то зарраи бузургии зарядаш q мегузарад. Аз ин рӯ элементҳои чараёнро чунин пешниҳод кардан мумкин мебошад:

$$Idl = \frac{Nq}{dt} \vec{v} dt = Nq\vec{v}$$

Ҳамин аст, ки қувваи амперии (3.1)-ро ба намуди:

$$d\vec{F} = Nq\vec{v} \sin \alpha$$

оварда метавонем. Дар мавриди чараёни доимӣ тамоми зарраҳои заряднок ба ҳамон як сӯ ҳаракат мекунад ва қувваи $d\vec{F}$ -ро чун қувваи натиҷавӣ ба зарраҳои ҳомилони чараён таъсирбахш пиндоштан раво аст. Пас, қувваи ба якто зарраи бо суръати $\vec{v}$ ҳаракатманд таъсирона:

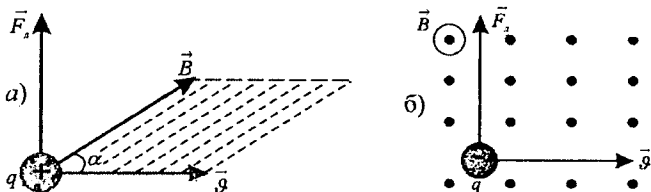
$$\vec{F}_L = d\vec{F} / N = q\vec{v} \sin \alpha, \quad (3.42)$$

ки дар ин ҷо α -кунҷи байни векторҳои $\vec{v}$ ва $\vec{B}$ мебошад. Ин ифода ро дар шакли векторӣ чунин пешниҳод карда метавонем:

$$\vec{F}_L = q[\vec{v}\vec{B}]. \quad (3.43)$$

Қувваи (3.42) ё (3.43)-ро олими голландӣ Х.А. Лоренс (1853-1928)-яке аз асосгузори назарияи классикии электронӣ муқаррар карда буд ва ҳоло номи ӯро гирифтааст.

Самти қувваи лоренсӣ мувофиқи (3.43) муайян карда мешавад ва мутобиқи зарби вектории $[\vec{v}\vec{B}]$ он ба ҳамворие, ки векторҳои $\vec{v}$ ва $\vec{B}$ ҷойгиранд, амудан равонааст (расми 3.19,а).



Расми 3.19

Дар мавриди манфӣ заряднок будани зарраи ҳаракатманд бояд ба назар гирифт, ки чараён ба муқобили самти ҳаракати зарра равона мебошад (расми 3.19, б) ва мувофиқи қоидаи дасти чап (пиг. §3.2) дар ҳоли аз ҳамвории нақша амудан суйи мушоҳид самт доштани вектори $\vec{B}$ қувваи лоренсӣ тавре самт дорад, ки дар расми 3.19, б тасвир ёфтааст.

Ҳамин тариқ, қувваи лоренсӣ ба самти суръати ҳаракати зарраи заряднок амуд мебошад ва аз ин рӯ он қор иҷро намекунад (яъне бузургии суръати зарраро тағйир намедихад). Қувваи лоренсӣ танҳо самти суръати ҳаракати зарраро дигар карда метавонад ва сабабгори дорон шитоби нормалӣ (ё худ марказрав) гардидани зарра мешавад.

Бояд хотирнишон сохт, ки майдони магнитӣ ба зарраи зарядноки ором таъсир намекунад ва ин яке аз хусусиятҳои фарқкунандаи майдони магнитӣ назар ба майдони электрӣ мебошад.

Агар ба зарраи зарядноки ҳаракатманд ҳамзамон ғайр аз майдони магнитии индуксияаш $\vec{B}$ майдони электрии шадидияташ $\vec{E}$ низ таъсир намояд, қувваи натиҷавие, ки зарра таҳти таъсироти он мешавад, ба ҳосили ҷамъи вектории ду қувваи зерин баробар аст:

$$\vec{F} = q\vec{E} + q\left[\vec{g}\vec{B}\right]. \quad (3.44)$$

Ин ифода *формулаи Лоренс* ном дорад. Дар ин формула $\vec{g}$ -суръати ҳаракати зарраи зарядноки q нисбат ба майдони магнитӣ мебошад.

§3.7. Ҳаракати зарраҳои заряднок дар майдони якҷинсаи электрӣ

Ҳангоми ба фазое, ки дар он майдонҳои якҷинсаи электрии шадидияташ $\vec{E}$ ва магнитии индуксияаш $\vec{B}$ мавҷуданд, ворид гаштани зарраи зарядаш q ва суръати ҳаракаташ $\vec{g}$ ба ин зарра қувваи лоренсӣ (§3.6) таъсир менамояд. Аз ин рӯ мувофиқи қонуни дуюми Нютон муодилаи ҳаракати зарра намуди зерин мегирад:

$$m \frac{d\vec{g}}{dt} = q\vec{E} + q\left[\vec{g}\vec{B}\right]. \quad (3.45)$$

Агар ин муодила дар шакли проексия нисбат ба меҳварҳои координатӣ пешниҳод карда шавад, он ба се муодилаи скалярие тақсим мегардад, ки ҳар яке ҳаракати зарраро ба рафти меҳварҳои мувофиқи координатӣ (X , Y , Z) тасвир менамояд. Мо ҳоло мавриди соддатареро баррасӣ мекунем: бигзор зарраи заряднок дар ибтидо ба рафти меҳвари X бо суръати g_0 ҳаракат намуда, ба майдони якҷинсаи

конденсатори ҳамвори уфукан ҷойгирбуда амудан ворид мешавад. Агар фосилаи байни рӯяҳои конденсатор назар ба дарозии рӯяҳо l хеле хурд бошад, майдони электроиро дар фазои байни рӯяҳо якчунин ($\vec{E} = \text{const}$) қабул кардан раво аст. Мехвари Y - ро ба хатҳои шадидият

$\vec{E}$ параллелан равона месозем (расми 3.20). Дар ин маврид $E_x = E_z = 0$; $E_y = E$ мешаванд. Хангоми мавҷуд набудани майдони магнитӣ ($B_x = B_y = B_z = 0$) зарра чун ҷисми уфукан партофташуда аз рӯи парабола ҳаракат мекунад ва траекторияи ҳаракат дар ҳамвори XOY мебошад. Аз ин рӯ муодилаи ҳаракат дар намууди проексия:

$$\frac{d\vartheta_x}{dt} = 0; \quad \frac{d\vartheta_y}{dt} = \frac{q}{m} E$$

мешавад, зеро ҳаракати зарра танҳо таҳти таъсири кувваи доимии электрии $F = qE$ сурат мегирад.

Акнун ба эътибор меگیرем, ки $\vartheta_x = \frac{dx}{dt} = \text{const} = \vartheta_0$ ва зарра дарозин рӯи конденсаторро дар тӯли вақти $t = l / \vartheta_0$ мегузарад ва дар ибтидо $\vartheta_{0y} = 0$ аст. Аз ин рӯ

$$\vartheta_y = \frac{q}{m} Et + \text{const}$$

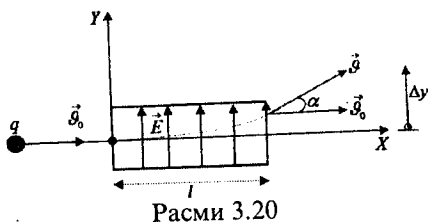
буданадро бо истифодаи ҳисоби интегралӣ муайян карда метавонем ва бо дарназардошти $\vartheta_{0y} = 0$ доимии интегралронӣ $\text{const} = 0$ буданаҳ маълум мегардад. Пас,

$$\vartheta_y = \frac{q}{m} \frac{El}{\vartheta_0} \quad (3.46)$$

аст. Аз ин ирӯ бузургии майли зарра ба рафти мехвари Y :

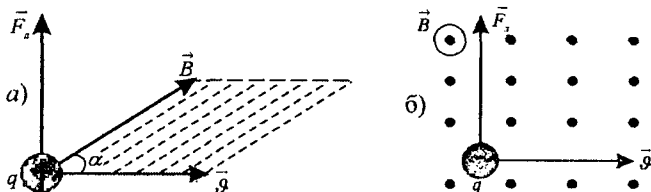
$$\Delta y = \frac{at^2}{2} = \frac{q l^2}{2m \vartheta_0^2} E \quad (3.47)$$

мебошад.



Расми 3.20

Мисоли 3.6. Электрон бо суръати $\vartheta_0 = 10^7 \text{ м/с}$ ба фазои байни рӯяҳои конденсатори ҳамвори уфукан ҷойгирбурда параллелан ба рӯяҳо ворид мегардад. Агар шадидияти майдони электрии конденсатор $E = 10 \text{ кВ/м}$ ва дарозии рӯяҳо $l = 6 \text{ см}$ бошад, модул ва самти суръати электрон баъди конденсаторро гузаштан ҷӣ қадар мешавад?



Расми 3.19

Дар мавриди манфӣ заряднок будани зарраи ҳаракатманд бояд ба назар гирифт, ки ҷараён ба муқобили самти ҳаракати зарра равона мебошад (расми 3.19,б) ва мувофиқи қонини дасти чап (ниг. §3.2) дар ҳоли аз ҳамвории нақша амудан сӯи мушоҳид самт доштани вектори $\vec{B}$ қувваи лоренсӣ тавре самт дорад, ки дар расми 3.19, б тасвир ёфтааст.

Ҳамин тариқ, қувваи лоренсӣ ба самти суръати ҳаракати зарраи заряднок амуд мебошад ва аз ин рӯ он қор иҷро намекунад (яъне бузургии суръати зарраро тағйир намендхад). Қувваи лоренсӣ танҳо самти суръати ҳаракати зарраро дигар карда метавонад ва сабабгори дорони шитоби нормалӣ (ё худ марказрав) гардидани зарра мешавад.

Бояд хотирнишон сохт, ки майдони магнитӣ ба зарраи зарядноки ором таъсир намекунад ва ин яке аз хусусиятҳои фарқкунандани майдони магнитӣ назар ба майдони электрӣ мебошад.

Агар ба зарраи зарядноки ҳаракатманд ҳамзамон ғайр аз майдони магнитии индуксияаш $\vec{B}$ майдони электрии шадидияташ $\vec{E}$ низ таъсир намояд, қувваи натиҷавие, ки зарра таҳти таъсири он мешавад, ба ҳосили ҷамъи вектории ду қувваи зерин баробар аст:

$$\vec{F} = q\vec{E} + q\left[\vec{v}\vec{B}\right]. \quad (3.44)$$

Ин ифода *формулаи Лоренс* ном дорад. Дар ин формула $\vec{v}$ -суръати ҳаракати зарраи зарядноки q нисбат ба майдони магнитӣ мебошад.

§3.7. Ҳаракати зарраҳои заряднок дар майдони якҷинсаи электрӣ

Ҳангоми ба фазое, ки дар он майдонҳои якҷинсаи электрии шадидияташ $\vec{E}$ ва магнитии индуксияаш $\vec{B}$ мавҷуданд, ворид гаштани зарраи зарядаш q ва суръати ҳаракаташ $\vec{v}$ ба ин зарра қувваи лоренсӣ (§3.6) таъсир менамояд. Аз ин рӯ мувофиқи қонуни дуёми Нютон муодилаи ҳаракати зарра намуди зерин мегирад:

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = q\vec{E} + q\left[\vec{v}\vec{B}\right]. \quad (3.45)$$

Агар ин муодила дар шакли проексия нисбат ба меҳварҳои координатӣ пешниҳод карда шавад, он ба се муодилаи скалярӣ тақсим мегардад, ки ҳар яке ҳаракати зарраро ба рафти меҳварҳои мувофиқи координатӣ (X , Y , Z) тасвир менамояд. Мо ҳоло мавриди соддатареро баррасӣ мекунем: бигзор зарраи заряднок дар ибтидо ба рафти меҳвари X бо суръати v_0 ҳаракат намуда, ба майдони якҷинсаи

конденсатори ҳамвори уфукан ҷойгирбуда амудан ворид мешавад. Агар фосилаи байни рӯяхои конденсатор назар ба дарозии рӯяхо l хеле хурд бошад, майдони электриро дар фазои байни рӯяхо якчинса ($\vec{E} = \text{const}$) қабул кардан равоаст. Мехвари Y - ро ба хатҳои шадидият $\vec{E}$ параллелан равона месозем (расми 3.20). Дар ин маврид $E_x = E_z = 0$; $E_y = E$ мешаванд. Ҳангоми мавҷуд набудани майдони магнитӣ ($B_x = B_y = B_z = 0$) зарра чун ҷисми уфукан партофташуда аз рӯйи парабола ҳаракат мекунад ва траекторияи ҳаракат дар ҳамвории XOY мебошад. Аз ин рӯ муодилаи ҳаракат дар намууди проексия:

$$\frac{d\vartheta_x}{dt} = 0; \quad \frac{d\vartheta_y}{dt} = \frac{q}{m} E$$

мешавад, зеро ҳаракати зарра танҳо таъсири қувваи доимии электрии $F = qE$ сурат мегирад.

Акнун ба эътибор мегирем, ки $\vartheta_y = \frac{dx}{dt} = \text{const} = \vartheta_0$ ва зарра дарозии рӯйи конденсаторро дар тӯли вақти $t = l / \vartheta_0$ мегузарад ва дар ибтидо $\vartheta_{0y} = 0$ аст. Аз ин рӯ

$$\vartheta_y = \frac{q}{m} Et + \text{const}$$

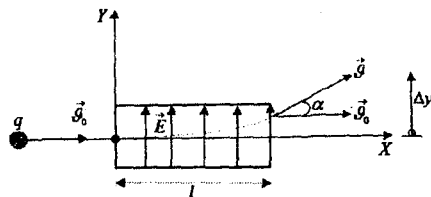
буданаширо бо истифодаи ҳисоби интегралӣ муайян карда метавонем ва бо дарназардошти $\vartheta_{0y} = 0$ доимии интегриронӣ $\text{const} = 0$ буданаши маълум мегардад. Пас,

$$\vartheta_y = \frac{q}{m} \frac{El}{\vartheta_0} \quad (3.46)$$

аст. Аз ин ирӯ бузургии майли зарра ба рафти мехвари Y :

$$\Delta y = \frac{at^2}{2} = \frac{ql^2}{2m\vartheta_0^2} E \quad (3.47)$$

мебошад.



Расми 3.20

Мисоли 3.6. Электрон бо суръати $\vartheta_0 = 10^7$ м/с ба фазои байни рӯяхои конденсатори ҳамвори уфукан ҷойгирбурда параллелан ба рӯяхо ворид мегардад. Агар шадидияти майдони электрии конденсатор $E = 10$ кВ/м ва дарозии рӯяхо $l = 6$ см бошад, модул ва самти суръати электрон баъди конденсаторро гузаштан ҷи кадар мешавад?

Маълумот:

$$\mathcal{Q}_0 = 10^7 \text{ м/с}$$

$$|e| = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

$$E = 10 \text{ кВ/м} = 10^4 \text{ В/м}$$

$$l = 6 \text{ см} = 6 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$\mathcal{Q} = ? \quad \alpha = ? \quad \Delta y = ?$$

Ҳал

Баъди ба фазои байни
рӯяхои конденсатор ворид
гаштани электрон ба он қувваи
дойимии электрии ба самти
ҳаракаташ амудан равона будаи
 $F = |e|E$ таъсир мекунад.

Дар натиҷа электрон ба самти муқобили вектори $\vec{E}$ (дар расми 3.20 сӯйи меҳвари Y равонабуда) шитоб мегирад, ки модулашро мувофиқи қонуни дуҷуми Нютон дарёфта метавонем:

$$m \frac{d\mathcal{Q}}{dt} = |e|E$$

ё худ баъди татбиқи ҳисоби интегралӣ:

$$\mathcal{Q}_y = \mathcal{Q}_{0y} + \frac{|e|E}{m} t$$

буданаш маълум мегардад, ки дар ин ҷо $t = l / \mathcal{Q}_0$ тӯли вақти ҳаракати электрон андаруни фазои конденсатор мебошад. Ба эътибор мегирем, ки то ба конденсатор ворид гаштан электрон уфукан ҳаракат мекард ва $\mathcal{Q}_{0y} = 0$, аз ин рӯ

$$\vec{\mathcal{Q}} = \vec{\mathcal{Q}}_0 + \vec{\mathcal{Q}}_y$$

аст. Модули суръати натиҷавӣ (ба расми 3.20 ниг.)

$$\mathcal{Q} = \sqrt{\mathcal{Q}_0^2 + \left(\frac{|e|El}{m\mathcal{Q}_0} \right)^2} = \sqrt{\left(10^7 \frac{\text{м}}{\text{с}} \right)^2 + \left(\frac{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 10^4 \text{ В/м} \cdot 6 \cdot 10^{-2} \text{ м}}{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \cdot 10^7 \text{ м/с}} \right)^2} = 1,45 \cdot 10^7 \text{ м/с}$$

Факат электрон бо ин суръат на ба боло, балки ба поён майл мекунад.

Самти $\vec{\mathcal{Q}}$ -ро бошад, аз секунҷаи тарафҳояш $\vec{\mathcal{Q}}$, $\vec{\mathcal{Q}}_0$ ва $\vec{\mathcal{Q}}_y$ дарёфта метавонем:

$$\cos \alpha = \frac{\mathcal{Q}_0}{\mathcal{Q}} = \frac{10^7 \text{ м/с}}{1,45 \cdot 10^7 \text{ м/с}} = 0,6897$$

ё худ

$$\alpha = \arccos 0,6897 = 46^\circ 24'.$$

Ҷавоб: $\mathcal{Q} = 1,45 \cdot 10^7 \text{ м/с}$; $\alpha = 46^\circ 24'$.

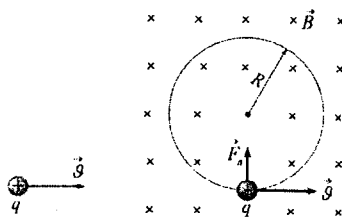
§3.8. Ҳаракати зарраҳои заряднок дар майдони якҷинсаи магнитӣ

Майдони магнитӣ ба зарраи зарядноки ором ($\mathcal{G}=0$), тавре ки зикр ёфт, таъсир намекунад. Гузашта аз ин, дар мавриди ба рафти хатҳои магнитӣ ё муқобили онҳо ҳаракат кардани зарраи заряднок, яъне ҳангоми дар формулаи (3.42) $\alpha=0^\circ$ ва $\alpha=180^\circ$ будан низ майдон ба зарра таъсире намеоварад ва он дар ин гуна майдон мунтазаму ростхатта ҳаракат менамояд.

Агар суръати ибтидоии зарраи зарядаш q ба хатҳои магнитӣ амудан равона бошад ($\alpha=90^\circ$), он гоҳ зарра аз рӯи давраи радиусаш доимии R (расми 3.21 дар он хатҳои магнитӣ ба ҳамвории нақша амудан «аз мо» равона аст) ҳаракат мекунад, ки мувофиқи қонуни дуҷуми Нютон:

$$\frac{m\mathcal{G}^2}{R} = q\mathcal{G}B \quad (3.48)$$

сабт намуда метавонем.



Расми 3.21

Аз ин ҷо радиуси давра:

$$R = \frac{m\mathcal{G}}{qB} \quad (3.49)$$

буданаш маълум мегардад. Пас, суръати кунҷии гардиши зарра:

$$\omega = \frac{\mathcal{G}}{R} = \frac{qB}{m} \quad (3.59)$$

ва даври гардиши он:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi m}{qB} \quad (3.51)$$

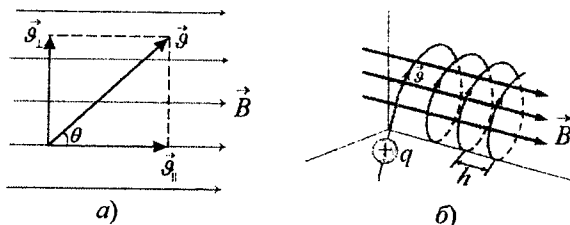
доимӣ буда, ба энергияи зарра вобаста нест. Танҳо радиуси даврае, ки зарра аз рӯи он гардиш мекунад, мувофиқи (3.49) ба суръати зарра вобаставу қувваи лоренсӣ ба маркази давра самт мегирад. Мавриди зарра мусбат буданаш самти гардиши он дар расми 3.21 нишон дода шудааст ва агар зарра манфӣ заряднок бошад, он ба самти муқобил гардиш мекунад.

Замоне ки зарра бо суръати $\vec{\mathcal{G}}$ ба хатҳои майдони якҷинсаи магнитӣ таҳти кунҷи θ ворид мешавад (расми 3.22,а), он суръатро ба ду ташқилдиҳанда: 1) $\mathcal{G}_{\parallel} = \mathcal{G}\cos\theta$, ки ба самти майдон равона аст ва 2) $\mathcal{G}_{\perp} = \mathcal{G}\sin\theta$ ба ин самт амуд ҷудо мекунам. Дар ин маврид ҳаракати зарраро ҳосили ҷамъи ду ҳаракати новобаста ташқил менамоянд: яке

харкати мунтазам бо суръати $\mathcal{Q}_{\parallel}$ ба рафти хатҳои магнитӣ ва ҳаракати давронӣ бо суръати $\mathcal{Q}_{\perp}$ (суръати кунҷиаш $\omega = qB/m$). Дар натиҷа зарра аз рӯйи хати спиралӣ радиусаш R ва қадамаш $h = \mathcal{Q}_{\parallel}T$ дар атрофи хатҳои магнитӣ (расми 3.22,б):

$$h = \frac{2\pi m \mathcal{Q} \cos \theta}{qB} \quad (3.52)$$

ҳаракат мекунад.



Расми 3.22

Мисоли 3.7. Протон ба хатҳои майдони магнитии якҷинсаи индуксияш $B=20$ мТл амудан ворид гашта, аз рӯйи давраи радиусаш $R=1.5$ м гардиш мекунад. Суръати протон баъди ба майдон ворид гаштан ва энергияи он муайян карда шавад.

Маълумот:

$m = 1,627 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ $q = e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ $B = 20 \text{ мТл} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ Тл}$ $R = 1,5 \text{ м}$ $\mathcal{Q} - ? \quad W - ?$

Ҳал

Суръати протонро дар асоси муодилаи (3.48) муайян карда метавонем:

$$\mathcal{Q} = \frac{qBR}{m} = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 2 \cdot 10^{-2} \text{ Тл} \cdot 1,5 \text{ м}}{1,627 \cdot 10^{-27} \text{ кг}} = 2,95 \cdot 10^6 \text{ м/с}.$$

Азбаски суръати протон $\mathcal{Q}$ назар ба суръати рӯшноӣ хеле хурд аст, барои муайян кардани энергияи он формулаи энергияи кинетикии муқаррарино истифода бурдан раво аст:

$$W_k = \frac{m \mathcal{Q}^2}{2} = \frac{1,627 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot (2,95 \cdot 10^6 \text{ м/с})^2}{2} = 7,08 \cdot 10^{-15} \text{ Ҷ}.$$

Ин қадар энергияро одатан бо электрон-вольтҳо (эВ) ифода мекунанд:

$$W_k = \frac{m \mathcal{Q}^2}{2} = \frac{7,08 \cdot 10^{-15}}{1,6 \cdot 10^{-19}} \text{ эВ} = 4,42 \cdot 10^4 \text{ эВ} = 44,2 \text{ кэВ}.$$

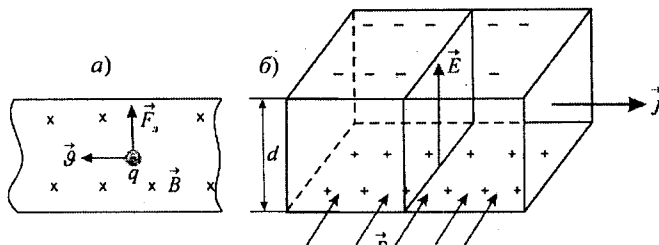
Ҷавоб: $\mathcal{Q} = 2,95 \cdot 10^6 \text{ м/с} = 2,95 \text{ Мм/с}$; $W_k = 7,08 \cdot 10^{-15} \text{ Ҷ} = 44,2 \text{ кэВ}$

§3.9. Эффекти Холл

Соли 1879 олими амрикой Э.Х. Холл (1855-1938) ошкор сохт, ки агар лавҳаи металлӣ росткунҷашакли ҷараёндор дар майдони якҷинсаи магнитӣ хатҳояш ба самти ҷараён амудан равонбуда ҷойгир карда шавад, дар рӯяҳои ба самти хатҳои индуксияи магнитӣ ва вектори зичии ҷараён амудӣ фарқи потенциалҳо ба вуҷуд меояд ва он ба бузургии вектори индуксия $\vec{B}$, зичии ҷараён $\vec{j}$ ва ғафсии лавҳа d мутаносиби роста мебошад:

$$U = R_H j B d. \quad (3.53)$$

Дар ин ҷо R_H – коэффитсенти мутаносибӣ асту *дойимии Холл* ном дорад. Ин ҳодиса бештар *эффекти Холл* ёд мешавад ва он чун натиҷаи таъсири кувваи лоренсӣ шарҳ меёбад (расми 3.23,а). Дарвоқеъ, ҳангоми ба тарафи рост равона будани ҷараён ва аз мо сӯйи лавҳа самт доштани хатҳои майдони магнитӣ (расми 3.23,б) кувваи лоренсӣ ҳомилони ҷараён – электронҳоро аз поён ба боло майл медеҳад.



Расми 3.23

Ҳамин аст, ки сатҳи болоии лавҳа манфиву сатҳи поёнии он мусбат заряднок мешаванд ва дар байни онҳо фарқи потенциалҳо вусъат меёбад. Аз ин рӯ дар сатҳҳо тақсимои муайяни зарядҳо сурат мегирад. Ҳангоми бетағйир мондани тақсимои зарядҳо кувваи таъсири майдони электрии ангеизонида ба ҳомилони ҷараён (вектори шадидияти он $\vec{E}$ аз поён ба боло самт дошта) кувваи лоренсиро ба мувозанат меорад ($F_{xi} = F_x$):

$$qE = qjB$$

ё худ

$$E = jB. \quad (3.54)$$

Агар ба эътибор гирем, ки $E = U/d$ ва $j = qn\vartheta$ (q – заряди ҳомилони ҷараён, n – консентратсияи онҳо) мебошанд, баробарии зерин ҳосил мешавад:

$$U = Ed = jBd = \frac{1}{qn} j B d. \quad (3.55)$$

Аз муқоисаи (3.53) ва (3.55) дойимии Холл:

$$R_H = \frac{1}{qn} \quad (3.56)$$

буданаш маълум мегардад.

Пас, донишони доимии Холл (3.56) имкон медиҳад, ки концентратсияи ҳимилони ҷараён n муайян карда шавад. Гузашта аз ин, аломати R_H табиати ҷараёни электрӣ дар моддаи ноқилро муқаррар менамояд. Ҳамин аст, ки эффекти Холлро хусусан барои муайян кардани наъви ноқилияти нимноқилҳо (яъне ба n -навъ ё p -навъ мансуб буданаш) истифода мебаранд.

Ҳоло дар асоси эффекти Холл дастгоҳ (ба лафзи русӣ *датчик-бозғиранда*)-ро барои бо саҳеҳии калон чен кардани индуксияи магнитӣ (ингуна дастгоҳҳо андозаҳои хеле хурд доранд) сохта шудаанд.

Мисоли 3.8. Доимии Холл барои натрий муайян карда шавад. Ба эътибор гиред, ки концентратсияи ҳимилони ҷараён дар ин металл ба концентратсияи атомҳои баробар асту зичии он $D = 0,97 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ мебошад.

Маълумот:

$$\left. \begin{array}{l} M = 23 \cdot 10^{-3} \text{ кг/мол} \\ D = 970 \text{ кг/м}^3 \\ R_H - ? \end{array} \right|$$

Ҳал

$$\text{Мувофиқи (3.56) } R_H = \frac{1}{qn}$$

аст, ки дар ин ҷо
 $q = |e| = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл-заряди элементарӣ.}$

Аз ин рӯ

$$n = \frac{N}{V} = \frac{vN_A}{V} = \frac{m}{V} \cdot \frac{N_A}{M} = \frac{DN_A}{M}$$

мебошад.

Пас,

$$R_H = \frac{1}{|e|n} = \frac{M}{|e|DN_A} = \frac{23 \cdot 10^{-3} \text{ кг/мол}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 970 \text{ кг/м}^3 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ мол}^{-1}} = 2,47 \cdot 10^{-10} \frac{\text{м}^3}{\text{Кл}}$$

Ҷавоб: $R_H = 2,47 \cdot 10^{-10} \text{ м}^3 / \text{Кл.}$

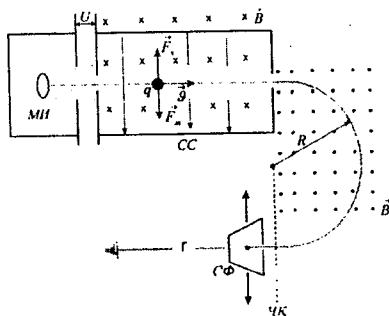
§3.10. Масс-спектрометр

Дар ибтидои садаи 20 барои бо саҳеҳии калон чен кардани массаи атому молекулаҳо асбобҳои сохта шуданд, ки *масс-спектрометр*ҳо ном гирифтанд. Дар ин ҷода саҳми олимони англис Ч.Ч. Томсон (1865-1940). Ф.У. Астон (1877-1945) ва чанде дигарон калон мебошад.

Амали масс-спектрометрҳо ба ҳаракати зарраҳои заряднок, хусусан ионҳо дар майдонҳои электрию магнитӣ асос ёфтааст. Ин гуна асбобҳо яқ навъ тарозуи электромагнитӣ ҳисобидан равост.

Дар масс-спектрометрҳои муосир андаруни камерае, ки аз он ҳавояш то вакууми баланд (фишори газҳои боқимонда то 10^{-9} Па мерасад) кашида мешавад, манбаи ионҳо *МИ* (расми 3.24), дастгоҳи

ба ном селектор (аз лот. Selector - ба навъҳо ҷудокунанда)-и суръатҳо CC ва ҷузъи кайдгираки ионҳо $ЧК$ ҷойгиранд.



Расми 3.24

Дар манбаии ионҳо моддаи тадқиқшавандаро тавассути тафсонидан ба «бухор» мегардонанд. Зарраҳои алоҳидан модда бо зарбаи электронҳои тезҳаракат ба ионҳо табдил дода мешаванд. Синас, ионҳо фарқи потенциалҳои U -ро гузашта дорон суръатҳои мегарданд, ки бузургии онҳоро дар асоси қонуни бақои энергия дарёфтан мумкин аст:

$$\frac{mv^2}{2} = qU \quad (3.57)$$

(дар ин ҷо m -массаи ион, q -заряди он мебошанд). Яъне, ионҳо вобаста ба массаашон бо суръатҳои гуногун ҳаракат мекунанд. Минбаъд ионҳо ба мобайни рӯяҳои конденсатори ҳамвор равона карда мешаванд. Ионҳо аз байни рӯяҳо гузашта дучори таъсири қувваи электрии $F_x = qE$ мегарданд. Ҳамзамон конденсаторро дар майдони

магнитис ҷойгир мекунанд, ки вектори индуксияаш $\vec{B}$ ба самти вектори суръати ҳаракати ионҳо амуд бошад ва қувваи лоренсӣ ба қувваи электрӣ муқобилан равона шавад. Шадиияти майдони

электрӣ $\vec{E}$ ва индуксияи магнитӣ $\vec{B}$ -ро қадри интиҳоб менамоянд, ки ин ду қувва ба мувозанат оянд ($F_x = F_y$, яъне $qE = qvB$ шавад). Дар ин маҳал аз конденсатор танҳо ионҳои мегузаранд, ки суръаташон қимати муайяни $v = E/B$ дошта бошанд. Маҳз ба ин муносибат ин гуна дастгоҳ *селектори суръатҳо* ном гирифтааст.

Баъди селектори суръатҳо ионҳо дучори майдони магнитии дигари индуксияаш B' -и ба самти суръати онҳо амудан равонабуда мегарданд ва мувофиқи (3.49) аз рӯи даврони радиусашон ба массаи ионҳо мутаносибан гардиш меҳранду ба ҷузъи кайдгираки электрӣ (ба ном *силндри Фарадей-СФ*, ки бо гальванометри хеле ҳассоси Γ васл аст) ворид ва миқдори онҳо чунон қувваи ҷараён чен карда мешавад.

Ҳамин тариқ, массаи атому молекулаҳо бо саҳеҳии зиёд (баъди адади бутун ҳиссахоӣ то нӯҳ рақам маҳдуд) муайян мекунанд. Маҳз бо усули масс - спектрометрӣ муқаррар карда шуд, ки массаи атомҳои моддаи тозаи химиявӣ гуногунанд. Ин гуна атомҳои *изотоп* меноманд. Ҳарчанд ионҳо дорон массаҳои гуногунанд, дар

чадвали даврии Д.И. Менделеев изотопҳо ҳамон як ҷойро ишғол менамоянд (аз юнониҳои *isoc* - баробар, яхела ва *topos*-ҷой). Чунончӣ, маълум гардид, ки элементҳои аввалини чадвали даврий-гидроген дорои сето изотоп аст, ки номҳои махсус гирифтаанд: ^1_1H -гидрогени муқаррарӣ-протий (аз юнонии *protos*-аввалин, маҳз ядроӣ ҳамин гидроген *протон* ном дорад), ^2_1H -дейтерий (аз юнонии *deuteros*-дуюмин) ва ^3_1H -тритий (аз юнонии *tritios*-сеюмин), ки радиоактив мебошад. Элементи шашӯмини чадвали даврий-карбон бошад, ду изотоп: $^{12}_6\text{C}$ -устувор ва $^{14}_6\text{C}$ -радиоактив дорад (изотопҳои дигари карбон- $^{11}_6\text{C}$, $^{13}_6\text{C}$, $^{15}_6\text{C}$ ва $^{16}_6\text{C}$ ба таври сунъӣ ҳосил карда шудаанд). Ба ҳамин минвол аксари элементҳо дорои изотопҳо буданашонро муқаррар намудаанд.

Бояд қайд кард, ки изотопҳои ҳамон як элемент аз ҷиҳати кимиёвӣ тамоман фарқ надоранд, ҳосиятҳои физикавӣ онҳо ҳеле наздиканд, ҳарчанд фарқ доранд. Масалан, оби вазнин- D_2O (дар ин ғуна об ҷойи яке аз гидрогенҳоро дейтерий ^2_1D -ишғол кардааст) ҳангоми фишори атмосферӣ нормалӣ дар $3,8\text{ }^\circ\text{C}$ ях мебандаду дар $101,4\text{ }^\circ\text{C}$ меҷӯшад; зичии он дар $11,3\text{ }^\circ\text{C}$ кимати зиёдтарин мегирад (зичии оби муқаррарӣ- H_2O дар $4\text{ }^\circ\text{C}$ кимати зиёдтарин гирифтанаширо хотиррасон менамоем).

§3.11. Суръатфизоҳои зарраҳои заряднок

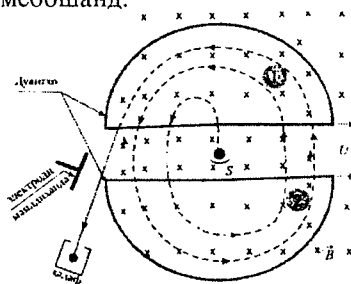
Дастгоҳҳои, ки бо ёрии онҳо зарраҳои заряднок дорои энергияи зиёди кинетикии то садҳо мегаэлектрон-вольт (*МэВ*) гардонда мешаванд, *суръатфизоҳо* ном гирифтаанд. Зарраҳои дорои ин қадар энергия барои омӯختани ҳамтаъсири ядроҳо, сохти дохилии онҳо зарур мебошанд.

Амали суръатфизоҳо низ ба ҳаракати зарраҳои заряднок дар майдонҳои электрии магнитӣ асос ёфтааст. Мувофиқи (3.57) барои он, ки суръати зарра то киматҳои зарурӣ зиёд карда шавад, зарра бояд фарқи потенциалҳои баланди бо душворихо фароҳамоваранда ё фарқи потенциалҳои начандон зиёд, вале бо осонӣ дастрасшавандаро тақрибан маротибҳо гузарад.

Дар *суръатфизоҳои ҳаттӣ* зарра як маротиб ба рафти ҳатти рост фарқи потенциалҳои баландеро ки масалан бо ёрии генератори Ван-де-Грааф (ба $\S 1.11$ ниг.) ҳосил мекунад, гузашта шитоб мегирад. Бо ин усул энергияи зарраро то $\approx 10\text{ МэВ}$ расондан имконпазир асту бас, зеро қорбасти шиддатҳои нисбатан баландтар боиси раҳна шудани изоляторҳо ва талаф ёфтани энергия мегардад.

Дар *суръатфизоҳои сиклӣ* зарра аз рӯйи спиралнамуди кушодашаванда гардиш хӯрда, энергияашро афзун мекунад. Яке аз ин ғуна суръатфизоҳо *сиклотрон* мебошад, ки онро с. 1932 олимони амриқӣ Э.О. Лоуренс (1901-1958) сохта буд. (Ҷоизаи Нобелӣ с. 1939). Қисми асосии сиклотронро ду электроди дарунҳолӣи шакли сарҳафӣ лотинии *D* дошта (ба ин муносибат *дуантиҳо* ном гирифта) ташкил медиҳанд (расми 3.25). Дуантиҳо аз ҳам дар фосилае дур буда,

андаруни камераи ҳавояш то вакууми баланд кашида (фишори газҳои бокимонда $\approx 10^{-6}$ Па) дар байни қутбҳои электромагнити пурзӯри индуксияи магнитияш якчанд тесла ҷойгиранд. Хатҳои магнитии ин майдон ба ҳамвории дуантҳо (дар расми 3.25 аз мо ба ҳамвории нақша) амудан равонаанд. Ба дуантҳо қутбҳои манбаии ҷараёни масалан мувофиқи қонуни $U = U_0 \sin(2\pi/T_s)$ тағйирёбандаи баландбасомад васл мебошанд.



Расми 3.25

Ионҳои мусбат, протонҳо аз манбаии дар маркази фосилаи байни дуантҳо воқеъгардида баромада, сӯйи дуанти дар айни замон манфӣ заряднокбуда (дуанти 1) ба ҳаракат мебароянду ба он ворид мешаванд ва бо таъсири қувваи лоренс аз рӯйи нимдавра гардиш хӯрда, ба фосилаи байни дуантҳо бармегарданд; даври тағйироти майдони электрии шитобдиҳандаро қадре интиҳоб мекунанд, ки дар ин замон самти майдон иваз шавад, яъне дуанти 2 манфӣ заряднок гардида, ба минбаъд тезонидани зарра мусоидат намояд (тақон хӯрад). Баъд аз ин зарра андаруни дуанти 2 нимдавраи радиусаш мувофиқи (3.49) қалонтар, вале даври гардишаш ба суръати зарра новобастаро паймуда, бори дигар дар фосидлаи байни дуантҳо тезонида мешавад ва ҳоказо.

Ба ин минвол зарра ҳар дафъа энергияшро афзун кардан мегирад. Пас, барои он, ки зарра дар циклотрон тақрибан гардиш хӯрда, суръаташро зиёд намеояд, даври гардишҳои он (T_m) ба даври тағйироти майдони электрии (T_s) мувофиқат кунад ($T_s = T_m$). Ин мувофиқат «*принципи синхронизатсия*» (ҳамзамонгардонӣ) ном дорад. Лекин аз ин ҷо набояд хулоса гирифт, ки зарраро маротибаҳои дилоҳ гардиш дода, энергияшро беохир зиёд кардан имконпазир бошад, зеро ҳангоми афзудани суръати зарра (ρ) радиуси нимдавраҳо мувофиқи (3.49) - қалон мешаваду дар навбати худ афзудани андозаҳои дуантҳо ва мувофиқан андозаҳои электромагнитро тақозо менамояд (барои маълумот: диаметри дуантҳои циклотрони аввалин 0,1143 м, диаметри электромагнити он 0,1016 м; диаметри электромагнити суръатфизос, ки дар ш. Серпухови вилояти Москва барои то 76 ГэВ тезондани протонҳо с. 1967 сохта шуда буд, 472 м ва барои он 20 000 тонна металл сарф гардид), яъне душвориҳои иловагиро меоварад. Гузашта аз ин, дар ҳоли ба суръати рӯшноӣ ($c = 3 \cdot 10^8$ м/с) наздик шудани суръати зарра (ρ) дар асоси назарияи махсуси нисбияти А. Эйнштейн массаи зарра мутобиқи қонуни

$m = m_0 / \sqrt{1 - \beta^2 / c^2}$ (m_0 -массаи зарраи ором аст) меафзояд, ки мувофиқи (3.51) боиси зиёд шудани даври гардиши зарра дар майдони магнитӣ (T_n) ва вайроншавии принципи синхронизатсия ($T_n > T_s$) мегардад. Дар натиҷа зарра тезонда нашуда, тормоз хӯрданаш мумкин мебошад. Аз ин рӯ дар сиклотрон энергияи протонҳоро то 20 МэВ, алфа-зарраҳоро то 40 МэВ расондан мумкин аст. Зиёда аз ин, дар сиклотрон электронҳоро тезонидан ғайриимкон мебошад, зеро ба зудӣ ҳамин, ки энергияи онҳо ба 0,5 МэВ мерасад, массаашон 2 маротиба меафзояд ($m = 2m_0$).

Ҳамин буд, ки суръатфизоҳо минбаъд такмил дода шуданд. Масалан, дар суръатфизои ба ном *фазотрон* баробари афзудани массаи зарра мувофиқан даври тағйироти шиддати шитобдиханда (T_s)-ро дигар мекунанд, ки принципи синхронизатсия вайрон нашавад. Бо ин усул энергияи зарраҳоро то 1000 МэВ (ё ки 1 ГэВ) расондан имконпазир гардид (дар ин маврид вобаста ба афзудани суръати зарраҳо зарурати зиёд кардани андозаҳои фазотронро ба миён овард).

Дар *синхротрон* ё *синхросиклотрон* асосан суръатфизои электронҳо даври тағйироти майдони электрӣ дойимӣ мекунанд ба кадри афзудани массаи зарра мутобиқи (3.51) индуксияи магнитиро зиёд мекунанд ва аз ин рӯ принципи синхронизатсия вайрон намешавад. Ин усул имконият дод, ки энергияи электронҳо то 5-10 ГэВ афзоиш ёбанд.

Синхрофазотронҳо муштаракан хосиятҳои фазотрон ва синхротронҳоро дарбар гирифтаанд. Дар онҳо радиуси мадори ҳаракати зарраҳо ба туфайли дойимӣ мондани $\beta = v/c$ бетағйир аст. Бо ин роҳ энергияи зарраро то 500 ГэВ расониданд. Соли 1983 бошад суръатфизои калонтарин барои тезондани протонҳо то 1000 ГэВ дар ИМА сохта шуд.

Мисоли 3.9. Дар сиклотрони радиусаш $R = 0,5$ м ва индуксияи магнетиаш $B = 1,7$ Тл энергияи кинетикии протонҳо чӣ қадар мешавад ва басомади майдони шитобдихандаи электрӣ бояд чанд бошад?

Маълумот:

$$R = 0,5 \text{ м}$$

$$B = 1,7 \text{ Тл}$$

$$m = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$$

$$q = |e| = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$W_k = ? \quad \nu_0 = ?$$

Ҳал

Мувофиқи формулаи (3.48) ёфтани суръати протон ва ҳисоб кардани энергияи кинетикии он чандон душвор нест:

$$\begin{aligned} W_k &= \frac{1}{2} \frac{q^2 B^2 R^2}{m} = \\ &= \frac{(1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл})^2 \cdot (1,7 \text{ Тл})^2 \cdot (0,5 \text{ м})^2}{2 \cdot 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}} = \\ &= 0,554 \cdot 10^{-11} \text{ Дж} = 34,6 \text{ МэВ}. \end{aligned}$$

Даври гардиш ва аз ин рӯ басомади мувофики майдони электроиро бо формулаи (3.51) ба шарти иҷро шудани «принципи синхронизатсия» муайян карда метавонем:

$$\nu_s = \frac{1}{T_u} = \frac{qB}{2\pi m} = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 1,7 \text{ Тл}}{2 \cdot 3,14 \cdot 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}} = 26 \cdot 10^6 \text{ Хс} = 26 \text{ МХс}.$$

Ҷавоб: $W_k = 34,6 \text{ МэВ}$; $\nu_s = 26 \text{ МХс}$.

§3.12. Теоремаи оид ба циркулятсияи вектори индуксияи магнитӣ

Дар қисми электростатика (ба §1.7 ниг.) мафҳуми циркулятсияи вектори шадидият $\vec{E}$ - ро тавассути интегралӣ:

$$\oint_L \vec{E} d\vec{l} = \oint_L E_i dl$$

ба рафти контури сарбасти шаклаш ихтиёрии L ворид намуда, нишон додем, ки он дар майдони электростатикӣ ҳар гоҳ баробари сифр аст ва ин натиҷа чун аломати потенциалӣ будани майдон доништа мешавад.

Акнун ҳамин гуна мафҳумро барои вектори индуксияи магнитӣ $\vec{B}$ дар вакуум баррасӣ менамоем:

$$\oint_L \vec{B} d\vec{l} = \oint_L B_i dl = \oint_L B dl \cos \alpha. \quad (3.58)$$

Хотирнишон мекунем, ки дар ин ҷо $d\vec{l}$ -элементи контури сарбасти L , $B_i = B \cos \alpha$ -ташқилдиҳандаи вектори $\vec{B}$ дар самти расандаи контур, α -кунҷи байни векторҳои $\vec{B}$ ва $d\vec{l}$ мебошанд.

Сиркулятсияи вектори индуксияи майдони магнитӣ дар вакуум мувофики (3.58) ба ҳосили зарби доимии магнитӣ μ_0 ва суммаи алгебравии қувваи ҷараёнҳои контури L дарбаргиранда баробар аст:

$$\oint_L \vec{B} d\vec{l} = \oint_L B_i dl = \mu_0 \sum_{k=1}^n I_k. \quad (3.59)$$

Ин хулоса ифодаи математикии *теоремаи оид ба сиркулятсияи вектори индуксияи магнитӣ* дар вакуум мебошад ва он чун қонуни ҷараёни пурра низ маъмул гаштаасту далели ғайрипотенциалӣ будани майдони магнитӣ доништа мешавад. Ҳамин аст, ки майдони магнитиро *гирдбодӣ* (ё худ *тӯфонӣ*) меноманд. Хислати гирдбодӣ доштани майдони магнитӣ яке аз фарқиятҳои ин майдон назар ба майдони электрӣ мебошад.

Мо теоремаи (3.59)-ро дар мавриди соддатарин - индуксияи майдони магнитии ҷараёни ростхаттаи беохир исбот мекунем. Барои ин ба сифати контури сарбасти L яке аз хатҳои магнитии майдони ин ҷараёнро интихоб менамоем (расми 3.26): ҷараён ба ҳамвории нақша амудан суйи мо равонаву самти гашти контур ба самти ҳаракати ақрабаки соат муқобил аст, аз ин рӯ $\alpha = 0^\circ$ ва

$$B_i = B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

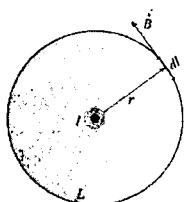
буданаширо ба эътибор мегирем. Пас,

$$\oint_L \vec{B} d\vec{l} = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \oint_L dl = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \cdot 2\pi r = \mu_0 I. \quad (3.60)$$

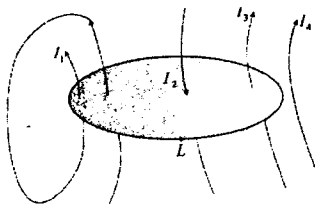
Агар контури L якчанд нокили чараёндорро дарбар гирад, дар асоси принципи суперпозитсияи майдонҳо ($\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \dots + \vec{B}_n$) бо дарназардошти (3.60) натиҷаи (3.59) ҳосил мешавад. Ҳангоми татбиқи амалии (3.59) бояд ба эътибор гирифт, ки дар мавриди ба ҳам мувофиқ омадани самти гашти контури L бо самти вектори индуксияи майдони магнитӣ қувваи чараёнро мусбату дар акси ҳол манфӣ қабул менамоем. Дар мавриди чараёнро дарбар нагирифтани контур сиркулятсияи вектори индуксияи он баробари сифр ба ҳисоб меравад. Чунончӣ, дар мисоли расми 3.27:

$$\oint B_i dl = \mu_0 (2I_1 - I_2 + I_3 + 0 \cdot I_4)$$

мебошад.

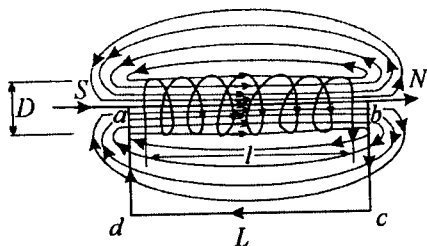


Расми 3.26

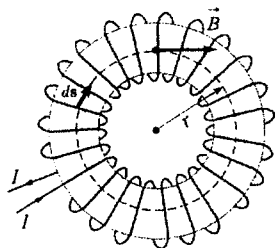


Расми 3.27

Чун намунаи татбиқи амалии конуни чараёни пурра индуксияи майдони магнитии ғалтаки нокилии дарозро, ки *соленоид* ном дорад (аз юнонии *solēn*–найча ва *eidos*–намуд), муайян менамоем. Дар расми 3.28 чанд хатҳои магнитии майдони соленоид тасвир ёфтаанд. Аз расм хувайдост, ки хатҳои магнитӣ ғайр аз нӯғҳо (N ва S) андаруни соленоид параллелан равонаанд ва он далели якҷинсагии майдон аст. Ғайр аз ин, майдони соленоид майдони магнити доимии ростро хотиррасон менамояд (ниг. расми 3.2,б). Дар беруни соленоид майдон ғайриҷинса, вале назар андарунаш суғ мебошад (зичии хатҳо ба ин шаҳодат медиҳад) ва онро сарфи назар кардан раво аст.



Расми 3.28



Расми 3.29

Барои дарёфтани индуксияи магнитии майдони соленоид ба сифати контури сарбаст чоркунҷаи росткунҷаи $abcd$ -ро интихоб

менаомем. Он гоҳ циркулятсия $\vec{B}$ - ро чунин пешниҳод карда метавонем:

$$\oint_L B_l dl = \int_a^b B_l dl + \int_b^c B_l dl + \int_c^d B_l dl + \int_d^a B_l dl = \mu_0 NI, \quad (3.61)$$

ки дар ин ҷо N -шумораи печакҳои контури сарбаст дарбаргирифта мебошад. Дар интегралӣ якум $B_l = B$ (майдони андаруни соленоид якҷинса асту самти $\vec{B}$ бо самти гашти контур мувофиқ меояд); дар интегралҳои дуюм ва чорум $B_l = 0$ (самтҳои $\vec{B}$ ва гашти контур ба ҳам амуданд) дар интегралҳои сеюм $B_l \rightarrow 0$ (дар беруни соленоид майдон ҳеле суст аст). Ҳамин тариқ,

$$Bl = \mu_0 NI \quad (3.62)$$

буданаш маълум мегардад, ки дар ин ҷо l -дарозии соленоид (он назар ба диаметри соленоид ҳеле калон ($l \gg D$)) ҳисоб карда мешавад.

Пас, индуксияи майдони магнитии соленоидро андарунаш бо формулаи:

$$B = \mu_0 \frac{NI}{l} = \mu_0 nI \quad (3.63)$$

дарёфта метавонем, ки дар ин ҷо $n = N/l$ -шумораи печакҳо дар воҳиди дарозӣ мебошад. Аз ин рӯ шадидияти майдони магнитии соленоидро андарунаш бо формулаи:

$$H = \frac{NI}{l} = nI \quad (3.64)$$

муайян кардан мумкин аст (ҳосили зарби NI -ро баъзан адади *ампер-печакҳо* меноманд).

Бояд қайд кард, ки натиҷаи ҳосилшуда (3.63), (3.64) ба дар кадом масофа аз меҳвари соленоид ҷойгир шудани порчаи ab вобаста нест; агар он дар берун воқеъ гардида бошад, печакҳои соленоидро дарбар намегирад, аз ин рӯ

$$\oint_L B_l dl = Bl = 0$$

ва $B = 0$. Пас, дар беруни соленоид индуксияи магнитӣ баробари сифр аст, андарунаш дар ҳамаҷо ҳамон як қимате дорад, ки бо (3.63) муайян карда мешавад. Ба ҳамин муносибат дар магнетизм соленоиди беохири дароз ҳамон нақшае мебозад, ки дар қисми электр конденсатори ҳамвор саҳм дошт.

Индуксияи майдони магнитии *тороид*-нокили зич дар ҷанбар печонида (расми 3.29) андарунаш айнан чун дар соленоид муайян карда мешавад:

$$B = \mu_0 nI, \quad (3.65)$$

ки дар ин ҷо n -шумораи печакҳои тороид дар воҳиди дарозииаш мебошад. Майдони магнитии тороид танҳо андарунаш вучуд дораду дар беруни он $B = 0$ аст.

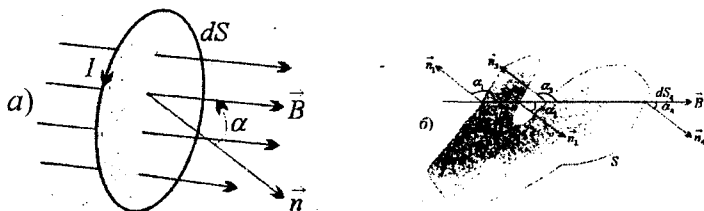
§ 3.13. Сели магнитӣ. Теоремаи Гаусс барои вектори индуксия

Мафхуми сели магнитӣ ё худ сели вектори индуксияро ба монанди сели вектори шадидияти майдони электрӣ (§ 1.5. ниг) ворид мекунем.

Сели магнитӣ аз сатҳи dS гуфта бузургии скаляриро мефаҳманд, ки мувофиқи формулаи:

$$d\Phi_B = B dS \cos \alpha = B_n dS \quad (3.66)$$

муайян карда мешавад; дар ин ҷо α - кунҷи байни нормали берунаи $\vec{n}$ -и сатҳ ва вектори индуксияи магнитӣ $\vec{B}$, $B_n = B \cos \alpha$ - проексияи вектори $\vec{B}$ дар нормали $\vec{n}$ мебошанд. Амалан dS -масоҳати канорхояш бо нокили чараёндор маҳдуд мебошад, ки хангоми пармачаро ба муқобили рафти акрабаки соат аз рӯи нокил гардиш додан ҳаракати пешравии пармача сӯйи нормали берунаи сатҳ сурат мегирад (расми 3.30, а).



Расми 3.30

Агар кунҷи α тез бошад ($\alpha_2, \alpha_4 < 90^\circ$; расми 3.30, б) сели магнитӣ мусбату дар мавриди кунд ($\alpha_1, \alpha_3 > 90^\circ$) будани он сели магнитӣ манфӣ ба ҳисоб меравад. Дар ҳоли ба ҳам мувофиқ омадани самтҳои $\vec{n}$ ва $\vec{B}$ кунҷи $\alpha = 0^\circ$ мешаваду сели магнитӣ кимати зиёдтарин мегирад:

$$d\Phi_{B_{\max}} = B dS. \quad (3.67)$$

Воҳиди сели магнитӣ маҳз тавассути (3.67) муқаррар карда мешавад ва дар СИ он *вебер*¹⁾ (мухтасар *Вб*) ном дорад:

$$1 \text{ Вб} = 1 \text{ Тл} \cdot 1 \text{ м}^2.$$

Яъне, 1 Вб - сели майдони якҷинсаи индуксияаш 1 Тл мебошад, ки хатхояш сатҳи 1 м^2 - и ба самти ин хатҳо амудан чойгирбудароро бурида мегузаранд.

Азбаски хатҳои магнитӣ бар хилофи хатҳои шадидияти майдони электрӣ на сар доранду на нӯг (онҳо сарбаст буданашонро хотиррасон менамояд), сели магнитӣ аз ҳаргуна сатҳи сарбастии шаклаш ихтиёрӣ баробари сифр аст:

$$\Phi_B = \oint_S B_n dS = 0. \quad (3.68)$$

Ин хулоса мазмуни *теоремаи Гаусс барои вектори индуксияи магнитиро* дарбар гирифтааст ва далели дар табиат вучуд надоштани зарядҳои магнитӣ мебошад (лозим ба ёдоварист, ки хатҳои

шадидияти майдони электростатикӣ аз зарядҳои мусбат ибтидо мегиранду дар зарядҳои манфӣ тамом мешаванд ё ба беохирӣ

*)ба шарафи олими олмонӣ В.Э. Вебер (1804 - 1891), ки дар соҳаи электромагнетизм тадқиқотҳои муҳим гузаронида буд, номгузорӣ шудааст. мераванд).

Чунончӣ, дар расми 3.30, б яке аз сатҳҳои сарбастии S ва якто хати майдони магнитӣ магнитии ин сатҳро буридагузаранда нишон дода шудааст: сели магнитии ин хат ду маротибаи манфӣ, ду маротибаи дигар мусбатро дар натиҷа сели баробари сифр ҳосил мешавад, ки тасдиқи теоремаи Гаусс ҳисобидан раво аст.

Барои намуна сели пурраи магнитие, ки тамоми сатҳҳои печакҳои соленоидро бурида мегузаранд, ҳисоб мекунем. Барои ин ба эътибор мегирем, ки ҳангоми аз соленоид гузаштани ҷараёни қуввааш I андаруни он майдон якҷинса буда, индуксияаш (ба §3.12 ниг.) бо формулаи:

$$B = \mu_0 n I \quad (3.69)$$

муайян карда мешавад (дар ин ҷо μ -нуфузпазирии нисбии моддаи дилаки соленоид аст) ва аз ҳар як печак он (бигузур шумораи печакҳои N -то бошад) сели магнитӣ:

$$\Phi_1 = BS$$

аст. Аз ин рӯ сели пурраи магнитии сатҳҳои тамоми печакҳои соленоидро буридагузаранда :

$$\Phi_B = N\Phi_1 = NBS = \mu_0 \frac{N^2}{l} SI = \mu_0 n^2 VI \quad (3.70)$$

шуданаш маълум мегардад, ки дар он $n = N/l$ -шумораи печакҳо дар воҳиди дарозии соленоид, $V = SI$ -ҳаҷми дилак мебошанд.

Масъалаи 3.10. Сели пурраи магнитӣ аз печакҳои ғалтаки дарознаш $l = 15$ см, диаметри дилакаш $D = 1,0$ см, ки ба он сими мисини ($\mu = 1$) ғафсиаш $d = 1$ мм - ро ҷафс карда печондаанд, ёфта шавад. Аз ғалтак ҷараёни қуввааш $I = 5$ А мегузарад.

Маълумот:

$$\left. \begin{aligned} l &= 15 \text{ см} = 0,15 \text{ м} \\ D &= 1,0 \text{ см} = 10^{-2} \text{ м} \\ d &= 1 \text{ мм} = 10^{-3} \text{ м} \\ I &= 5 \text{ А} \\ \mu_0 &= 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м} \\ \Phi_B &= ? \end{aligned} \right\}$$

Ҳал

Ҳангоми печакҳо ҷафс карда печонидан $l = Nd$, аз ин рӯ

$$n = \frac{N}{l} = \frac{N}{Nd} = \frac{1}{d}$$

ва агар ба эътибор гирем, ки ҳаҷми ғалтак:

$$V = \frac{\pi D^2}{4} l$$

мебошанд, сели пурра:

$$\Phi_B = \mu\mu_0 \frac{1}{d^2} \cdot \frac{\pi D^2}{4} I I = \pi^2 \left(\frac{D}{d}\right)^2 \cdot 10^{-7} I I = (3,14)^2 \cdot \left(\frac{10^{-2} \text{ м}}{10^{-3} \text{ м}}\right)^2 \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м} \cdot 0,15 \text{ м} \cdot 5 \text{ А} =$$

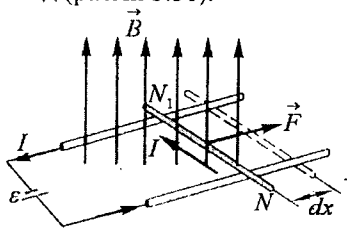
$$= 7,4 \cdot 10^{-5} \text{ Вб} = 74 \text{ мкВб}$$

буданаши маълум мегардад.

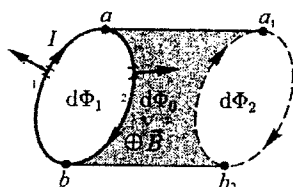
Ҷавоб: $\Phi_B = 74 \text{ мкВб}$.

§3.14. Кори қўчондани ноқил ва контури ҷараёндор дар майдони магнитӣ

Фарз мекунем, ки ноқили NN_1 -и дарозии l , қувваи ҷараёнаш I дар майдони магнитии якҷинсаи индуксияш $\vec{B}$ озодона қўчиди метавонад (расми 3.31).



Расми 3.31



Расми 3.32

Ба ин ноқил аз ҷониби майдони магнитӣ қувваи амперии зиёдтарини $F_{\max} = IBl$ таъсир менамояд ва ноқил ба самти ин қувва ба ҳаракат медарояд. Кори қўчондани ноқил дар роҳи dx :

$$dA = Fdx = IBldx \doteq IBdS$$

мебошад. Ҳосили зарби $ldx = dS$ масоҳатест, ки дар он ноқили ҷараёндор хатҳои магнитиро бурида мегузарад. Аз ин рӯ сели магнитӣ $d\Phi = BdS$ мешавад. Пас, кори қўчондани ноқили ҷараёндорро бо формулаи:

$$dA = Id\Phi \quad (3.71)$$

муайян карда метавонем.

Нишон додан мумкин аст, ки дар мавриди ғайриякҷинса, инчунин хангоми ба сатҳи dS тахти кунҷе равона будани вектори $\vec{B}$ кори қўчондани ноқили ҷараёндор боз бо ҳамон формулаи (3.71) ҳисоб карда мешавад (дар ин ҳол боиси ба ноқили ҷараёндор таъсир намудани майдони магнитӣ ташкилдихандаи нормалии вектори индуксия $B_n = B\cos\alpha$, буданашро қайд менамоем, ки дар ин ҷо α -кунҷи байни нормали сатҳи dS ва вектори $\vec{B}$ аст).

Лозим ба ёдоварист, ки кори қўчондани ноқили ҷараёндорро на майдони магнитӣ, балки манбаи ҷараён $\mathcal{E}$ иҷро менамояд. Агар майдони магнитӣ ин гуна корро иҷро мекард, масалан мавҷудияти магнитҳои дойимӣ ғайри имкон мебуд.

Мавриди дар майдони магнитӣ қўчидани контури сарбастии ҷараёндор, ҷунонҷи контури ab (расми 3.32, ки дар он хатҳои магнитӣ аз мо сўйи ҳамвории нақша равонаанд) аз ҷаҳат ба рост ҳаракат намудан, корро чун ҳосили ҷамъи корҳои қўчонидани гӯё ду

нокил (китъаҳои чапи контур alb ва рости он $b2a$) пешниҳод кардан равоаст:

$$dA = dA_1 + dA_2 = -I(d\Phi_1 + d\Phi_0) + I(d\Phi_0 + d\Phi_2) = I(d\Phi_2 - d\Phi_1) = Id\Phi \quad (3.72)$$

Аломати минус дар ин формула бо сабаби ба самти муқобили қувваи амперӣ кӯчидани контур омадааст.

Ҳамин тариқ, ҳангоми дар майдони магнитӣ кӯчонидани контури сарбастӣ ҷараёндор низ қор ба ҳосили зарби қувваи ҷараёни контур ва тағйироти сели магнитии бо ин контур алоқаманд баробар мебошад.

Масъалаи 3.11. Аз ҳалқаи нарми нокилии радиусаш $R = 4$ см ҷараёни қуввааш $I = 5$ А ҳорист. Хатҳои индуксияи майдони берунаи индуксияаш $B = 0,4$ Тл ба ҳамвори халқа тавре равоанаанд, ки бо вектори индуксияи ҷараён қунҷи $\alpha_1 = 60^\circ$ ташиқ менамоянд. Барои ин қунҷро ба $\alpha_2 = 0^\circ$ табдил додан чӣ қадар қор иҷро кардан зарур аст?

Маълумот:

$$R = 4 \text{ см} = 4 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$I = 5 \text{ А}$$

$$B = 0,4 \text{ Тл}$$

$$\alpha_1 = 60^\circ$$

$$\alpha_2 = 0^\circ$$

$$A = ?$$

Ҳал

Ҳангоми тағйир додани қунҷ сели магнитӣ дигар мешавад. Қори иҷрошуда дар ин маврид:

$$\begin{aligned} A &= I(\Phi_2 - \Phi_1) = IBS(\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1) = \\ &= IBS(\cos 60^\circ - \cos 0^\circ) = IB\pi R^2(0,5 - 1) = \\ &= -0,5 \cdot 5 \cdot 0,4 \text{ Тл} \cdot 3,14 \cdot (4 \cdot 10^{-2} \text{ м})^2 \text{ В} = \\ &= -50,24 \cdot 10^{-4} \text{ В} \approx -5 \text{ мВ}. \end{aligned}$$

Ҷавоб: $A = -5 \text{ мВ}$

Қори манфӣ гувоҳи он аст, ки қорро манбаии ҷараён муқобили қувваҳои майдон иҷро мекунад. Ин қорро ба тарзи дигар тавассути тағйироти энергияи потенциалии контури дар майдони магнитӣ ҷойгирбуда ҳисоб кардан мумкин аст. Тавре ки дар §3.3 нишон додем, тағйироти энергияи потенциалии контур бо аломати минус ба қори иҷрошуда баробар мебошад:

$$A = -\Delta W_p = -P_m B = -\pi R^2 B I.$$

Машқи 3

3.1. Аз қуллаҳои секунҷаи мунтазами тарафаш $a = 2$ см се ҷараёни ҳамсамти ростии беҳири қувваҳои $I_1 = I_2 = I_3 = 10$ А мегузаранд. Қувваи аз қониби ду ҷараён ба ҷараёни сеюм таъсиронар, ки ба ҳар як метрии дарозии нокилҳо рост меояд, ёфта шавад.

$$(1,73 \text{ мН/м})$$

3.2. Ба рамаи даврашакли радиусаш $R = 10$ см, ки аз он ҷараёни қуввааш $I = 20$ А мегузараду ба хатҳои майдони якҷинсаи магнитии

индуксияш $B = 0,5$ Тл параллелан чойгир аст, чӣ қадар моменти гардишвар таъсир мекунад?

(0,3 Нм)

3.3. Аз ду нокили беохири параллелии амудан чойгирбудаи фосилаи байнашон $d = 10$ см чараёнҳои ҳамсамти қувваашон $I_1 = 20$ А ва $I_2 = 30$ А мегузаранд. Индуксияи магнитии майдонҳои чараёнҳо дар нуктаҳои хати уфукии: 1) аз нокили якум ба кадри $r_1 = 2$ см чаптар; 2) дар миёнҷойи фосилаи байни чараёнҳо; 3) ба кадри $r_2 = 3$ см росттар аз нокили дуюм воқеъгардида ёфта шавад.

(0,25 мТл; 0,04 мТл; 0,23 мТл).

3.4. Нокили рости беохирро ба кунҷи рост катъ карда аз он чараёни қуввааш $I = 50$ А сар дода шудааст. Шадиияти майдони магнитии чараён дар биссектрисаи кунҷ дар нуктае ёфта шавад, ки аз қуллаи ин кунҷ дар масофаи 10 см чойгир мебошад.

(193,4 А/м)

3.5. Индуксияи майдони магнитиро дар маркази нокили квадратшакл муайян намоед, ки тарафаш $a = 10$ см бошад ва аз он чараёни қуввааш $I = 10$ А гузарад.

(226,3 мкТл)

3.6. Аз ду нокили рости беохири параллелии фосилаи байншон 10 см чараёнҳои қувваашон баробари $I = 50$ А-й мегузаранд. Индуксияи майдони магнитии чараёнҳоро дар нуктае муайян намоед, ки аз ҳар ду нокил дар масофаҳои баробари 17 см чойгир аст. Мавридҳои ҳамсамт ва муқобилсамт будани чараёнҳоро муҳокима намоед.

(34,4 мкТл; 112,4 мкТл)

3.7. Шадиияти майдони магнитии чараёни доиравии моменти магнитиаш $p_m = 0,785$ А·м² ва радиусаш $R = 5$ см дар марказаш ёфта шавад.

(1 кА/м)

3.8. Аз нокили рости дароз чараёни қуввааш $I_1 = 45$ А мегузарад. Аз поён дар масофаи $d = 1$ см нокили ҳамон қадар дарози алюминии бурришгоҳи арзиаш $S = 1$ мм² параллелан чойгир аст. Зичии алюминий $D = 2,7 \cdot 10^3$ кг/м³ буданаширо дониста, маълум намоед, ки барои муаллақ мондани нокили алюминий аз он бояд чӣ қадар чараён гузарад?

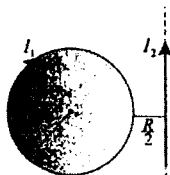
(30 А)

3.9. Шадиияти майдони магнитии нокили доиравии радиусаш 5 см, ки аз он чараёни қуввааш $I = 50$ А мегузарад, дар меҳвари ин чараён дар масофаи 3 см аз марказаш чӣ қадар мебошад?

(24,7 А/м)

3.10. Нокили доиравии радиусаш R , қувваи чараёнаш $I_1 = 2$ А ва нокили рости беохир дар як ҳамворӣ чойгиранд (расми 3.33). Аз нокили рост, ки дар фосилаи $0,5R$ аз сатҳи нокили доиравӣ воқеъ

гардидааст, чӣ қадар бояд ҷараён гузарад, ки шадидияти натиҷавии майдони ҳар ду ҷараён дар маркази ҷараёни доиравӣ $H=0$ шавад?
(9,42 A)



Расми 3.33

3.11. Шадидияти ҷараёни доиравии радиусаш $R=10$ см дар марказаш $B=50$ мкТл мебошад. Шадидияти ин гуна ҷараён дар нуктаи аз ҳамвории ҷараён дар фосилаи $a=10$ см дур дар меҳвараи ёфта шавад.

(35,3 A/m)

3.12. Шадидияти порчаи нокили ростро дар нуктаи хати амудии аз миёнҷойи порча фурувардашуда, ки дар фосилаи 10 см аз порча воқеъ аст, муайян намоед. Порча аз он нукта таҳти кунҷи 60° намоён аст. Аз нокил ҷараёни қуввааш 30 A мегузарад.

(23,9 A/m)

3.13. Электрон дар майдони магнитии якҷинсаи индуксияаш $\hat{A}=50$ мкТл аз рӯи давра гардиш мекунад. Суръати кунҷии гардиши электрон чӣ қадар аст?

($8,8 \cdot 10^6$ рад/с)

3.14. Протон аз рӯи давраи радиусаш $R=4$ см дар майдони якҷинсаи индуксияаш $\hat{A}=0,3$ Тл ҷарх мезанад. Энергияи кинетикии протон муайян карда шавад.

(17,2 МэВ)

3.15. Протони бо шиддати $U=50$ кВ тезонидашуда ба нокили ростии беохирӣ қувваи ҷараёнаш $I=5$ А дар масофаи $r=1$ см аз он параллелан ҳаракат мекунад. Ба протон чӣ қадар қувва таъсир мекунад?

($4,95 \cdot 10^{-16}$ Н)

3.16. Протон фарқи потенциалҳои $U=0,5$ кВ-ро гузашта, ба майдони магнитии якҷинсаи индуксияаш $B=0,3$ Тл ворид мегардад ва аз рӯи давра гардиш мекунад. Радиуси давра ёфта шавад.

($\approx 1,6$ м)

3.17. Дар сиклотрони радиуси дуантҳояш $R=35$ см протонҳо то энергияи $W=20$ МэВ тезонида мешаванд. Индуксияи магнитии майдоне, ки дар он дуантҳо ҷойгиранд, чӣ қадар мебошад?

(1,85 Тл)

3.18. Аз бурришгоҳи арзии лавҳаи мисини ғафсиаш $d=0,5$ мм ҷараёни қуввааш $I=5$ А мегузарад. Лавҳа дар майдони магнитии якҷинсаи индуксияаш, $B=1$ Тл, ки хатҳояш ба паҳлӯи лавҳа амудан

равонаанд, чойгир карда шудааст. Дар лавҳа чӣ қадар фарқи потенциалҳои ҳоллӣ ба вуҷуд меояд?

Ба эътибор гиред, ки дар мис ба ҳар як атомаш якто электрони озод рост меояд ва зичии мис $D = 8,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ аст.

(0,74 мкВ)

3.19. Дар майдони якҷинсаи магнитии шадидияташ $\vec{I} = 60 \text{ кА/м}$ рамкаи квадратшакли тарафаш $a = 10 \text{ см}$ тавре чойгир карда шудааст, ки ҳамвории он бо ҳатҳои магнитӣ кунҷи $\alpha = 30^\circ$ ташкил медиҳад. Сели магнитӣ аз сатҳи рамка ёфта шавад.

(0,377 мВб)

3.20. Дар як ҳамворӣ бо нокили рости беохир, ки аз он ҷараёни қуввааш $I = 50 \text{ А}$ мегузарад, рамкаи квадратшакли тарафаш 10 см чойгир аст. Агар ду тарафи рамка ба нокил параллелан ва тарафи наздиктаринаш дар масофаи ба a баробар аз нокил воқеъ гардида бошад, сели магнитии майдони ҷараён аз сатҳи ин рамка чӣ қадар аст?

($\approx 0,7 \text{ мкВб}$)

3.21. Ғалтаки дарози индуктивӣ аз сими диаметраш $d = 0,8 \text{ мм}$ -и печахояш ҷафс тайёр карда шудааст. Шадидияти майдонро андаруни ғалтак ҳангоми аз печаҳо сар додани ҷараёни қуввааш $I = 5 \text{ А}$ муайян намоед.

(6,25 кА/м)

3.22. Аз сими диаметраш $d = 0,5 \text{ мм}$ соленоиде бояд тартиб дод, ки андарунаш шадидияти майдон $I = 24 \text{ кА}$ бошад. Аз сим ҷараёни қуввааш зидтарини $H = 8 \text{ А/м}$ сар додан имконпазир аст. Агар печаҳо ба ҳам ҷафс карда гузаронида шаванд, соленоид бояд чанд қабатро дарбар гирад?

(3)

3.23. Индуктивияти ғалтаки дарозинаш $l = 25 \text{ см}$, радиусааш $r = 2,5 \text{ см}$, ки аз сими диаметраш $d = 0,5 \text{ мм}$ ҷафс карда печонидаанд, чӣ қадар мебошад?

(25 мкҲи)

3.24. Дар майдони магнитии якҷинсаи индуксияаш $B = 0,5 \text{ Тл}$ контури квадратшакли тарафаш $l = 10 \text{ см}$ ва қувваи ҷараёнаш $I = 20 \text{ А}$ чойгир аст. Ҳамвории квадрат бо самти вектори индуксия кунҷи $\beta = 30^\circ$ ташкил медиҳад. Барои аз майдон баровардани контур чӣ қадар кор иҷро кардан лозим аст?

(0,05 Ҷ)

3.25. Печасе, ки аз он ҷараёни қуввааш $I = 20 \text{ А}$ ҷорист, дар майдони якҷинсаи магнитии индуксияаш $B = 0,02 \text{ Тл}$ чойгир аст. Радиуси печаси $R = 10 \text{ см}$. Барои печасе ба кунҷи $\alpha = \pi/2$ нисбат ба меҳвари бо диаметри печаси мувофиқбуда гардондан чӣ қадар кор иҷро кардан мебошад?

($\approx 12,6 \text{ мҶ}$)

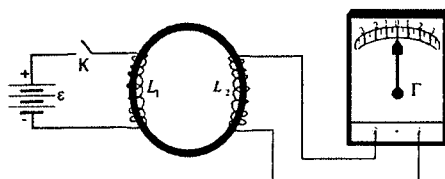
ҲОДИСАҲОИ ЭЛЕКТРОМАГНИТӢ ВА ҚОНУНҲОИ ҶАРАЁНИ ТАҒЙИРЁБАНДА

§4.1. Таҷрибаҳои Фарадей. Индуксияи электромагнитӣ

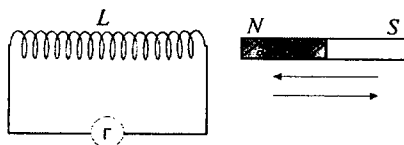
Баъди кашфиёти Х. Эрстед (с. 1820) ва тадқиқотҳои А. Ампер (с. 1820-1821) маълум гардид, ки дар атрофи ҳар гуна ҷараёни электрӣ майдони магнитӣ ба вуҷуд меояд. Олими борҳо номбурдаи машҳури англис М. Фарадей симметрӣ будани қонунҳои табиатро дар назар дошта, ҳамоно солҳо онд ба мавҷудияти ҳодисаи баръакс-тавассути майдони магнитӣ ҳосил шудани ҷараёни электрӣ масъала гузошт ва баъди кофтуковҳои тӯлонии таҷрибаҳои сершумор с.1831 ҳалли онро дарёфт. Ӯ ҳодисаеро ошкор сохт, ки минбаъд *индуксияи электромагнитӣ* ном гирифт. Хотиррасон кардан бамаврид аст, ки олими амрикоӣ Ч. Генрӣ, дурусттараш Ҳенрӣ (1797-1878) як сол пеш аз М. Фарадей ҳодисаи индуксияи электромагнитиро кашф кард, вале М. Фарадей натиҷаҳояшро зудтар ба ҷоп расонда буд.

Барои ба ғояҳои ҳодисаи индуксияи электромагнитӣ сарфаҳм рафтан аз таҷрибаҳои Фарадей дутояшро баррасӣ менамоем. Дар таҷрибаи аввал ба дилаки оҳанин аз нокили изолятсияпӯш ду ғалтак печонида шуда буд, ки ба нӯғҳои яке (L_1 , расми 4.1) тавассути калиди K манбаии ҷараёни доимӣ $\mathcal{E}$, ба нӯғҳои дигаре (L_2) галванометри ҳассоси тақсмоти сифриаш дар миёнҷойи шкалааш воқеъгардидаи G пайвастанд. Ҳангоми васлу ҷудо кардани калид галванометр дар занҷири L_2 ҳосил шудани ҷараёни нишон медиҳад. Аҷоибот дар он буд, ки мавриди васли калид акрабаки галванометр ба як сӯй, вақти ҷудо кардани он бошад, сӯйи муқобил майл меҳӯрад. Дар ҳоли аз ғалтаки L_1 гузаштани ҷараёни доимӣ акрабак ором мемонад.

Дар таҷрибаи дуюм ба ғалтаки дар нӯғҳояш галванометр васлбудаи L (расми 4.2) дуру наздик кардани магнито доимии NS галванометр тавлид ёфтани ҷараёниро қайд мекунад. Дар ин маврид ҳам вақти ба ғалтак дуру наздик овардани магнит акрабак ба самтҳои гуногун майл меҳӯрад. Агар баръакс, ғалтакро ба магнито ором дуру наздик оварем ҳам ҳодиса такрор мешавад. Дар ҳоли андаруни ғалтак ором ҷойгир будани ҳатто магнито пурқувват галванометр ҳосил шудани ҷараёниро нишон намедиҳад. Гузашта аз ин, магнит ё ғалтакро ҳар қадар бо суръати қалонтарин дуру наздик оварем, галванометр ҳамоно қадар ҷараёни зиёдтарро қайд менамояд.



Расми 4.1



Расми 4.2

Аз таҷрибаҳои Фарадей хулоса гирифт, ки танҳо дар мавриди аз печаҳои галтаки галванометрдор тағйир додани майдони магнитӣ ҷараён тавлид меёбад.

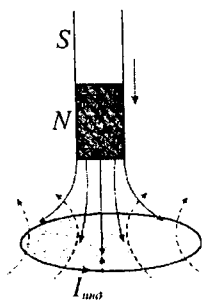
Лозим ба ёдоварист, ки то дар занҷир қувваи электроҳаракатдиханда (ҚЭХ) набошад, ҷараён ҳосил намешавад, вале дар занҷирҳои галтаки галванометрдор ҳеҷ гуна манбаии ҷараён вучуд надорад. Ҳарчанд дар онҳо ҷараён ва аз ин рӯ ҚЭХ барангехта мешаванд. Маҳз ҳамин ҳодиса индуксияи электромагнитӣ, ҷараён ва ҚЭХ-и тавлидёфта мувофиқан ҷараён ва ҚЭХ-и индуксионӣ ном гирифтаанд.

Гузашта аз ин, Фарадей тавассути таҷрибаҳои муқаррар кард, ки дар мавриди умумӣ хангоми аз сатҳи ҳар гуна контур тағйир ёфтани сели магнитӣ бузургии ҚЭХ-и индуксионӣ ба суръати тағйироти он сел мутаносиби рооста аст. Ин мутаносибиро чунин пешниҳод мекунанд:

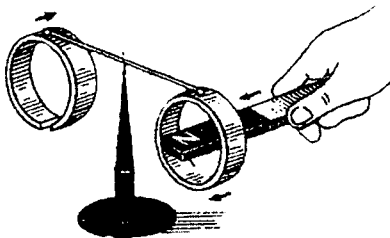
$$\varepsilon_{\text{индук}} = - \frac{d\Phi}{dt} \quad (4.1)$$

Аломати минус дар ифодаи (4,1), ки чун қонуни асосии индуксияи электромагнитӣ маъмул гаштааст, ба ном қойидаи Ленс-ро ба эътибор мегирад. Ин қойидаро олими рус Э.Х. Ленс (1804-1865) тавассути таҷрибаҳо с. 1833 муқаррар намуд ва он оид ба самти ҷараёни индуксионӣ баҳс мекунад:

ҷараёни индуксионӣ чунон самт мегирад, ки майдони магнитии ҳусусии он ба майдони магнитии ин ҷараёно барангезанда муқобил таъсир наҷамояд. Чунончӣ, агар ба контур магнети дойимиро бо кутби шимолиаш наздик орем (расми 4.3), сатҳи контурро ҳарчӣ зиёдтар хатҳои майдони магнитӣ мебуранд (дар расми 4.3 онҳо бо хатҳои яқлухт тасвир ёфтаанд ва амудан ба поён равонаанд). Дар натиҷа сели магнитӣ аз сатҳи контур меафзояд. Дар ин маврид ҷараёни индуксионии контур ба рафти акрабаки соат муқобилан самт мегираду хатҳои майдони ҳусусии он (дар расми 4.3 онҳо бо хатҳои рах-рах тасвир ёфтаанд ва амудан ба боло равонаанд) ба афзоиши сели магнитии сабабгор мамониат мерасонанд: контур гӯё манбаии кутби шимолии майдони магнитии ҷараёни индуксионӣ мешавад. Агар ҳамон магнети дойимиро аз контур дур андозем, сели магнитӣ аз сатҳи контур кам мегардад. Дар ин ҳол самти ҷараёни индуксионӣ ба самти аввала муқобилу хатҳои магнитиаҳ акнун амудан ба поён равон шуда, ба коҳиши сели магнети дойимӣ мамониат мерасонанд ва контур гӯё ба манбаии кутби ҷанубии майдони ҷараёни индуксионӣ табдил меёбад.



Расми 4.3



Расми 4.4

Койидаи Ленсро бо дастгоҳи соддаи зерин намоиш додан мумкин аст (расми 4.4). Ду ҳалқаи алюминӣ (алюминий моддаи гайримагнитист)-яке яклухту дигаре кадре бурида чун ду паллаи тарозу дар мувозанат буда, дар атрофи меҳвари амудӣ гардиш хӯрда метавонанд. Ҳангоми ба ҳалқаи яклухт наздик овардани магнити дойимӣ ҳалқа мувофиқи қоидаи Ленс (ба расми 4.3 ниг.) тела меҳӯрад. Мавриди аз ҳалқа дур бурдани магнит ҳалқа ба магнит ҷазб мешавад аз паси он ба ҳаракат мебарояд. Агар ба ҳалқаи бурришдор ҳарчанд магнити дойимиро дуру наздик намоем, ҳеҷ гуна ҳамтаъсирот мушоҳида намешавад. Зеро бо сабаби сарбаст набудани ҳалқа акнун дар он ҷараёни индуксионӣ тавлид намеёбад ва аз ин рӯ майдони магнити индуксионӣ ба вуҷуд намеояд.

Койидаи Ленс ба қонуни бақои энергия асос ёфтааст. Дарвоқеъ, ба мавриди дар расми 4.3 тасвирёфта бармегардем. Агар ҳангоми ба контур наздик овардани қутби шимолии магнити дойимӣ ҷараёни индуксионӣ ба рафти акрабаки соат самт мегирифт, сели магнитӣ аз сатҳи контур боз ҳам зиёдтар шуда, ҷараёни индуксионии калонтарро тавлид мекард. Дар натиҷа дар контур иқтидори иловагӣ вусъат меёфт ва контур ба мошине мубаддал мешуд, ки абадӣ бояд амал намояд, вале ин ҳулоса муҳолифи қонуни бақои энергия мебошад. Ҳамин аст, ки олими олмонӣ Г.Л. Гелмголтс, дурусттараш Хелмхольтс (1821-1894) маҳз дар асоси қонуни бақои энергия ифодаи (4.1)-ро ба тарзи назариявӣ исбот кард. Барои ба он боварӣ ҳосил кардан ба таҷрибаи дар расми 3.31 тасвирёфта (ба §3.14 ниг.) бармегардем. Агар дар ин таҷриба гайр аз гармин ҷоулу ленсиёе, ки дар занҷир хориҷ мешавад, кори қўчондани нокили ҷараёндорро ба эътибор гирем (тавре ки зикр ёфта буд, он корро манбаии ҷараён иҷро менамояд), кори пурраи манбаъро чунин пешниҳод кардан раво аст:

$$I \varepsilon dt = I^2 R t + I d\Phi \quad (4.2)$$

Дар ин ҷо R -муқовимати пурраи занҷир аст. Баъди ихтисори қувваи ҷараёни занҷир I аз (4.2) баробарии зеринро ҳосил мекунем:

$$I = \frac{\varepsilon - d\Phi / dt}{R} = \frac{\varepsilon + \varepsilon_{ind}}{R} \quad (4.3)$$

Ин таносуб ифодаи қонуни Ом барои занҷири сарбаст мебошад, ки он қонуни (4.1)-ро бевосита дарбар гирифтааст.

Минбаъд маълум шуд, ки ҳар қадар шумораи пешаҳои контур зиёд бошад, ҳамон қадар бузургии ҚЭХ-и индуксионӣ меафзояд.

Ҳамин буд, ки Фарадэй дар таҷрибаҳои ғалтакхоро истифода кард. Агар контур аз N -то печак иборат бошад, қонуни асосии индуксияи электромагнитӣ чунин намуд мегирад:

$$\varepsilon_{\text{индук}} = -N \frac{d\Phi}{dt}, \quad (4.4)$$

ки дар он $d\Phi/dt$ -суръати тағйироти сели магнитӣ аз ҳар як печа мебошад.

Мисоли 4.1. Дар майдони магнити яқчинсаи индуксияаш $B = 0,17 \text{ Тл}$ рамкаи квадратшакли тарафаш $a = 5 \text{ см}$, ки аз сими мисини масоҳати бурришгоҳи арзиаш $S = 1 \text{ мм}^2$ сохта шудааст, тавре ҷойгир мебошад, ки хатҳои магнитиро амудан бурида мегузарад. Агар майдони магнитӣ барҳам хӯрад, аз рамка чӣ қадар заряд мегузарад?

Маълумот:

$$\begin{array}{l} B = 0,17 \text{ Тл} \\ a = 5 \text{ см} = 5 \cdot 10^{-2} \text{ м} \\ \rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м} \\ S = 1 \text{ мм}^2 = 10^{-6} \text{ м}^2 \\ \hline q - ? \end{array}$$

Ҳал

Дар тӯли вақти барҳам хӯрдани майдони магнитӣ дар рамка ҚЭХ - и индуксионии:

$$\varepsilon_i = - \frac{d\Phi}{dt}$$

ангезонида мешавад. Дар тӯли ин вақт аз рамка ҷараёни қуввааш:

$$I = \frac{\varepsilon_i}{R} = - \frac{d\Phi}{R dt}$$

мегузарад, ки онро чун:

$$I = - \frac{dq}{dt}$$

пешниҳод карда метавонем. Аз ин рӯ

$$dq = - \frac{1}{R} d\Phi,$$

ки дар ин ҷо R -муқовимати рамка мебошад. Пас, миқдори заряде, ки аз буришгоҳи арзии нокили рамка дар тӯли вақти барҳам хӯрдани майдони магнитӣ мегузарад,

$$q = - \frac{1}{R} \int_{\Phi_0}^0 d\Phi = \frac{\Phi_0}{R}$$

аст. Акнун ба эътибор мегирем, ки

$$\Phi_0 = Ba^2 \cos 0^\circ = Ba^2; \quad R = \rho \frac{l}{S} = \rho \frac{4a}{S}$$

(дар ин ҷо $S = a^2$ -масоҳати рамка) мебошад.

Ҳамин тарик,

$$q = \frac{Ba^2}{\rho \frac{4a}{S}} = \frac{BaS}{4\rho} = \frac{0,17 \text{ Тл} \cdot 5 \cdot 10^{-2} \text{ м} \cdot 10^{-6} \text{ м}^2}{4 \cdot 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}} = \frac{0,5}{4} \text{ Кл} = 0,125 \text{ Кл}$$

мебошад:

Ҷавоб: $q = 0,125 \text{ Кл}$.

§4.2. Ҳодисаи худиндуксия. Индуктивият

Тавре ки аз таҷрибаҳои Фарадей бармеояд, ҳар гуна тағйироти майдони магнитӣ сабабгори рӯй додани ҳодисаи индуксияи электромагнитӣ мегардад. Чунончӣ, агар аз контури сарбаст чараён гузарад, дар атрофи он майдони магнитие ба вучуд меояд, ки индуксияаш мувофиқи қонуни Био-Савар-Лаплас ба қувваи чараён вобаста аст ва дар мавриди тағйир ёфтани ин чараён сели магнитиаш аз сатҳи контур ба қувваи чараён мутаносибан дигар мешавад:

$$\Phi = LI. \quad (4.5)$$

Дар ин ҷо L -коэффитсиенти мутаносибӣ буда, *индуктивияти контур* ном дорад. Индуктивият ба андозаҳои контур, теъдод ё шумораи печаҳои он (агар контур аз чандин печаҳо иборат бошад), инчунин ҳосиятҳои магнитии муҳити атрофи контур вобаста аст. Воҳиди индуктивият дар СИ 1 Ғенри (мухтасар 1 Ғи , ба лафзи русӣ 1 генри , мухтасар 1 Ги) буда, мувофиқи (4.5) муқаррар карда мешавад: 1 Ғи -индуктивияти контурест, ки ҳангоми аз он гузаштани чараёни қуввааш 1 А аз сатҳи контур сели магнитии 1 Вб ба вучуд меояд.

Индуктивияти ғалтаки симин, ки *ғалтаки индуктивӣ* ном гирифтааст ва яке аз ҷузьҳои асосиест барои ҳосил кардани майдонҳои электромагнитии тағйирёбанда аҳамияти калони амалӣ дорад. Индуктивияти чунин ғалтаки дароз-соленоидро аз муқоисаи (4.5) ва (3.70) муайян карда метавонем:

$$L = \mu \mu_0 n^2 V, \quad (4.6)$$

ки дар ин ҷо $n = N/l$ -шумораи печаҳои соленоид дар воҳиди дарозӣ аст.

Агар дар занҷири ғалтаки индуктивиро дарбаргирифта қувваи чараён тағйир ёбад, дар он як навъ ҳодисаи индуксияи электромагнитии ба истилоҳ *худиндуксия* рӯй медиҳад, ки ҚЭҲ- ашро мувофиқи (4.1) муқаррар карда метавонем:

$$\varepsilon_s = -\frac{d\Phi}{dt} = -L \frac{dI}{dt} - I \frac{dL}{dt}. \quad (4.7)$$

Мавриди ба мурури замон доимӣ мондани индуктивияти занҷир ($L = \text{const}$) ҚЭҲ-и *худиндуксия*:

$$\varepsilon_s = -L \frac{dI}{dt} \quad (4.8)$$

танҳо ба суръати тағйироти қувваи чараён дар занҷир мутаносиб мебошад; яъне ҳар қадар индуктивияти занҷир зиёд бошад ва қувваи чараён дар он бо суръати калонтар (зуд) тағйир ёбад, ҚЭҲ-и бузургтари худиндуксия барангехта мешавад. Аз (4.8) бармеояд, ки агар қувваи чараёни занҷир дар тӯли 1 с ба кадри 1 А тағйир ёбаду

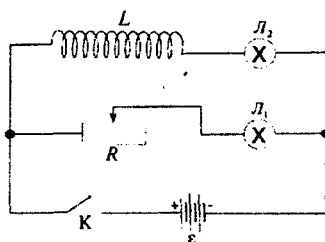
дар занҷир ҚЭХ-и худиндуксионии 1 B барангехта шавад, индуктивияти ин занҷир:

$$1 \chi_{II} = 1 \frac{B \cdot c}{A}. \quad (4.9)$$

Ёдрас кардан бамаврид аст, ки ходисаи худиндуксияро с 1822 олими номбурдаи амрикоӣ Ч. Хенрӣ (воҳиди индуктивият маҳз ба шарафи ин олим 1 χ_{II} номгузорӣ шудааст) кашф намуда буд, вале ӯ натиҷаҳояшро дар вақташ ба ҷоп нарасонд.

М. Фарадей с. 1835 ходисаи худиндуксияро дар асл дубора кашфу натиҷаҳояшро ҷоп намуд.

Ходисаи худиндуксия дар таҷрибаи зерин бараъло зоҳир мегардад (расми 4.5). Занҷири электрии аз ду қитъаи параллелан пайваستбудаи яке аз ғалтаки индуктивии L ва лампаи L_2 , дигаре аз реостати R ва лампаи L_1 таркиб ёфта, тавассути калиди K ба манбаи қараёни доимии $\mathcal{E}$ васл мебошад. Қитъаҳо аз ҷиҳати электрӣ баробарвазнанд, яъне муқовиматҳои якандоза доранду лампаҳо айнан якхелаанд. Ҳангоми пайвасти калид қувваи қараён дар ғалтак аз сифр то ягон қимати $I_0 = \mathcal{E} / R_2$ мефзояд ва мувофиқи қоидаи Ленс дар ин қитъа қараёни худиндуксионие ба вуҷуд меояд, ки муқобили қараёни асосӣ самт гирифта, ба ин афзоиш мамониат мерасонад ва дар натиҷа лампаи L_2 назар ба лампаи L_1 қадре дертар фурузон мешавад.



Расми 4.5

Мавриди ҷудо кардани калид қувваи қараён дар ҳамон қитъа аз I_0 то сифр кам мешавад. Акнун қараёни индуксионӣ ба қараёни камшавандаи асосӣ ҳамсамт гашта, ба коҳиши ин қараён мамониат мерасонад. Ҳамин аст, ки дар ин ҳол лампаи L_2 назар ба L_1 қадре дертар хомӯш мегардад. Дарвоқеъ, баробари васли калид занҷир ҳам ҚЭХ-и асосӣ $\mathcal{E}$ ва ҳам ҚЭХ-и худиндуксия $\mathcal{E}_S$ -ро дарбар мегирад, аз ин рӯ қонуни Ом барои занҷири сарбаст чун:

$$IR = \mathcal{E} + \mathcal{E}_S$$

сабт карда мешавад, ки онро ба намуди

$$IR - \mathcal{E} = -L \frac{dI}{dt}$$

овардан мумкин аст. Акнун бузургии тағйирёбандаи ёрирасони $U = IR - \mathcal{E}$ -ро ворид сохта ин муодиларо чунин пешниҳод карда метавонем:

$$\frac{dU}{U} = -\frac{R}{L} dt. \quad (*)$$

Баъди интегрронӣ дар ҳудуди вақти аз 0 то t , ки дар ин муддат қувваи ҷараён аз 0 то қимати $I_0 = \varepsilon / R_2$ тағйир меёбад, муодилаи (*) намуди зерин мегирад:

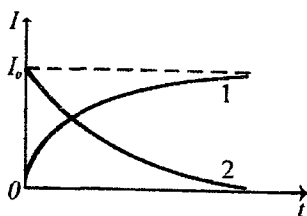
$$\ln\left(\frac{IR - \varepsilon}{-\varepsilon}\right) = -\frac{R}{L} t$$

ё худ баъди потенсирионидан:

$$I = I_0 \left(1 - e^{-\frac{R}{L} t}\right) \quad (4.10)$$

буданаҳ маълум мегардад, ки дар ин ҷо I_0 -қимати қувваи ҷараёни барқароршуда (ҳангоми $t \rightarrow \infty$), нисбати $\tau = L/R$ (мувофиқи воҳидаш) ба ном *тӯли вақти релаксатсия* мебошанд (τ -тӯли вақтест, ки баъди гузаштани он система ба ҳолати ибтидоиаш бармегардад). Аз ин рӯ барқароршавӣ дар ҳоли ҳар қадар индуктивияти занҷир хурд ва муқовимати он қалон будан ҳамон қадар тезтар рӯй медиҳад.

Ҳамин тариқ, мавриди васли қалид қувваи ҷараён на яқбора, балки тадриҷан мувофиқи хати қачи 1 (расми 4.6) меафзояд.



Расми 4.6

Акнун раванди тағйироти ҷараёно ҳангоми ҷудо кардани қалид муҳокима менамоем. Дар занҷире, ки индуктивияташ L , муқовиматаш R ва дар он манбаи ҚЭХ-аш ε амал мекунад, ҷараёни қуввааш $I_0 = \varepsilon / R$ ҷорист. Дар лаҳзаи $t=0$ занҷирро тавассути қалид аз манбаъ ҷудо мекунем, онгоҳ аз ғалтак, тавре ки зикр ёфт, қувваи ҷараён коҳиш меёбад, ки боиси ба вучуд омадани ҚЭХ-и худиндуксияи $\varepsilon_s = -L dI/dt$ мешавад. Аз ин рӯ мувофиқи қонуни Ом баробарии зеринро сабт карда метавонем:

$$IR = -L \frac{dI}{dt}.$$

Ин муодиларо ба намуди:

$$\frac{dI}{I} = -\frac{R}{L} dt$$

оварда, баъди интегрронӣ дар ҳудуди вақти аз 0 то t , ки дар ин муддат қувваи ҷараён аз I_0 то I кам мешавад, қонуни зерини тағйироти қувваи ҷараёно муқаррар менамоем:

$$I = I_0 e^{-\frac{R}{L} t}. \quad (4.11)$$

Яъне, баъди чудо кардани калид қувваи ҷараёни занҷир на якбора, балки тадричан мутобиқи хати қачи 2 (расми 4.6) кам мешавад.

Ҷараёне, ки мувофиқи қонуни (4.10) меафзояд, *экстраҷараёни васлиавӣ* ва мувофиқи қонуни (4.11) қоҳиш меёбад, *экстраҷараёни қатъишавӣ* ном гирифтаанд (пешованди *экстра* дар номҳои ин ду ҷараён ба маънои аҷоибу ғароиб, ғайриҷашмдошт омадааст).

Хотиррасон кардан бамаврид мебошад, ки ҳангоми қимати калон доштани индуктивияти занҷир ва қувваи ҷараёни он бузург будан ҳангоми чудо кардани калид қувваи ҷараён ҳеле бо зудӣ тағйир ёфта, дар занҷир ҚЭХ - и худиндуксияи назар ба ҚЭХ-и асосӣ зиёдтар барангехта шуданаш имконпазир аст. Дар натиҷа ҳаво раҳна гардида шарора парида метавонад. Ин гуна ҳодиса ба оқибатҳои нохуш оварданааш аз эҳтимол дур нест. Чунончӣ, дар ҳонае, ки бо ин ё он сабаб гази табиӣ ё бугҳои бензину карасин ҷамъ шуда бошанд, баробари чудо кардан, инчунин васли калиди шабакаи шахрӣ таркиш ё сӯхтор ба амал омада метавонад, инчунин занҷири шабакавии ҳона аз қор баромаданааш мумкин аст.

Масъалаи 4.2. Индуктивияти контур $L = 0,144 \text{ Ҳи}$, муқовимати он $R = 10 \text{ Ом}$ мебошад. Баъди ҷанд вақти васли ҷараён қувваи он нисфи қувваи ҷараёни барқароршавандаро ташкил медиҳад?

Маълумот:

$$L = 0,144 \text{ Ҳи}$$

$$R = 10 \text{ Ом}$$

$$I = 0,5I_0$$

$$t = ?$$

Мувофиқи шарти масъала $I = 0,5I_0$ буданашро ба эътибор гирем:

$$0,5I_0 = I_0(1 - e^{-\frac{R}{L}t})$$

ё ки

$$e^{-\frac{R}{L}t} = 0,5$$

аз ин рӯ

$$-\frac{R}{L}t = \ln 0,5 = -0,693$$

мешавад. Пас, тӯли вақти матлуб:

$$t = \frac{0,693L}{R} = \frac{0,693 \cdot 0,144 \text{ Ҳи}}{10 \text{ Ом}} = 10 \text{ мс}$$

буданаш маълум мегардад.

Ҷавоб: $t = 10 \text{ мс}$

§4.3. Энергияи майдони магнитӣ

Нокиле, ки аз он ҷараён мегузарад, ҳар вақт бо майдони магнитӣ ихота ёфтааст. Майдони магнитӣ пайваста баробари ба

вучуд омадани чараёну пайдо ва катъ ёфтани он нест мешавад. Майдони магнитӣ чун майдони электрӣ ҳомил (баранда)-и энергия мебошад. Энергияи майдони магнитӣ бо коре муайян карда мешавад, ки чараён барои ба вучуд овардани ин майдон иҷро менамояд.

Агар аз контури индуктивияташ L чараёни қуввааш I гузарад, бо ин контур сели магнитии $\Phi = LI$ алоқаманд аст. Ба кадри dI тағйир ёфтани қувваи чараён боиси тағйироти сели магнитии $d\Phi = LdI$ мегардад. Барои ин қадар тағйирот кори $dA = Id\Phi = LI dI$ иҷро мешавад. Аз ин рӯ барои ба вучуд овардани сели магнитии Φ кори зеринро иҷро кардан мебояд:

$$A = \int_0^I LI dI = \frac{LI^2}{2}. \quad (4.12)$$

Лозим ба ёдоварист, ки ифодаи (4.12)-ро чун кори зидди ҚЭХ - и худиндуксия ҳангоми аз 0 то қимати I афзудани қувваи чараён, ки барои ба вучуд овардани майдони магнитӣ иҷро кардан лозим меояд, маънидод намудан равоаст. Пас, контури чараёндор дорони энергияи:

$$W = \frac{1}{2} LI^2 \quad (4.13)$$

мебошад.

Дар мисоли майдони магнитии якҷинсаи андаруни соленоиди дароз мавҷудбуда энергияи майдони магнитиро бо бузургҳои тавсифдиҳандаи ин майдон дар фазои ихотакарда ифода менамоем. Ба эътибор мегирем, ки индуктивияти соленоид мувофиқи (4.6):

$$L = \mu\mu_0 n^2 V,$$

индуксияи майдони магнитии он:

$$B = \mu\mu_0 nI = \mu\mu_0 \frac{NI}{l}$$

мебошанд, аз ин рӯ:

$$I = \frac{Bl}{\mu\mu_0 N}$$

ва бо дарназардошти он, ки $B = \mu\mu_0 H$ аст, барои энергияи майдони магнитӣ ифодаи зеринро ҳосил карда метавонем:

$$W = \frac{1}{2} \mu\mu_0 H^2 V = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu\mu_0} V = \frac{1}{2} BHV, \quad (4.14)$$

ки дар ин ҷо $V = lS$ -ҳаҷми соленоид мебошад.

Майдони магнитии соленоиди дароз якҷинса буда, андаруни он энергия бо зичии ҳаҷмӣ:

$$w_w = \frac{W}{V} = \frac{1}{2} \mu\mu_0 H^2 = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu\mu_0} = \frac{1}{2} BH, \quad (4.15)$$

таксим шудааст. Ин ифодаҳо хислати умумӣ дошта, барои майдонҳои гайриякҷинса низ татбиқшавандаанд.

Зичии ҳаҷми энергияи майдони магнитӣ ба зичии ҳаҷмӣ энергияи майдони электрӣ (1.94):

$$w_E = \frac{W}{V} = \frac{1}{2} \epsilon\epsilon_0 E^2 = \frac{1}{2} ED \quad (4.16)$$

мувофикат мекунаду дар он бузургҳои электрӣ бо бузургҳои тавсифдиҳандаи майдони магнитӣ ($\vec{B}$ ва $\vec{H}$) иваз шудаанд.

Масъалаи 4.3. Майдонҳои пуркуvvати электромагнитӣ, ки дар шароити лабораторӣ дастрас мешаванд, ба шадидияти $E = 1,0 \cdot 10^4 \text{ В/м}$ ва индуксияи $B = 2,0 \text{ Тл}$ мувофиқанд. Зичии ҳаҷмии энергияи ин майдонҳоро муқоиса бинмосед. Муайян созед, ки ҳангоми кадом шадидият зичии энергияи майдони электрӣ ба зичии энергияи майдони магнитии индуксияаш $B = 2,0 \text{ Тл}$ мувофиқ меояд.

Маълумот:

$$E = 1,0 \cdot 10^4 \text{ В/м}$$

$$B = 2,0 \text{ Тл}$$

$$w_E = ? \quad w_H = ? \quad E_2 = ?$$

Ҳал

Зичии ҳаҷмии энергияи майдонҳои электрию магнитӣ бо формулаҳои:

$$w_E = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2; \quad w_H = \frac{1}{2} \mu_0 B^2$$

муайян када мешаванд, ки дар ин ҷо $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$ ва $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м} = 12,56 \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$ мувофиқан дойимииҳои электрию магнитӣанд. Аз ин рӯ:

$$w_E = \frac{1}{2} 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ В/м} \cdot (10^4 \text{ В/м})^2 = 4,2 \cdot 10^{-4} \text{ Ҷ/м}^3;$$

$$w_H = \frac{1}{2} \frac{(2 \text{ Тл})^2}{12,56 \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}} = 1,6 \cdot 10^6 \text{ Ҷ/м}^3$$

мебошанд. Пас, бояд баробарии зерин ҷой дошта бошад:

$$\frac{1}{2} \epsilon E_1^2 = 1,6 \cdot 10^6 \text{ Ҷ/м}^3,$$

аз ин ҷо

$$E_1 = \sqrt{\frac{3,2 \cdot 10^6}{8,85 \cdot 10^{-12}}} \frac{\text{В}}{\text{м}} = 6 \cdot 10^8 \text{ В/м}$$

буданааш маълум мегардад.

Хотиррасон кардан бамаврид аст, ки шадидияти ба E_1 баробар танҳо андаруни атомҳо вучуд дошта метавонад.

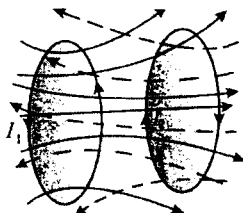
Ҷавоб: $w_E = 4,2 \cdot 10^{-4} \text{ Ҷ/м}^3$; $w_H = 1,6 \cdot 10^6 \text{ Ҷ/м}^3$; $E_1 = 6 \cdot 10^8 \text{ В/м}$.

§4.4. Индуксияи тарафайн

Фарз мекунем, ки контурҳои 1 ва 2 нисбат ба якдигар наҷандон дур ҷойгиранд (расми 4.7). Агар аз контури 1 ҷараёни қуввааш I_1 ҷорӣ бошад, он аз сатҳи контури 2 сели пурраи магнитии ба I_1 мутаносибро ба вучуд меорад:

$$\Phi_1 = L_{12} I_1 \quad (4.17)$$

(дар расми 4.7 хатҳои магнити ҷараёни I_1 бо хатҳои яклухт тасвир ёфтаанд).



Расми 4.7

Ҳангоми тағйироти ҷараёни I_1 дар контури 2 ҚЭХ - и индуксионии:

$$\varepsilon_2 = -L_{21} \frac{dI_1}{dt} \quad (4.18)$$

ангезонида мешавад. Айнан ҳамин тарз дар ҳоли аз контури дуюм гузаштани ҷараёни қуввааш I_2 сели пурраи бо контури 1 алоқаманди:

$$\Phi_2 = L_{12} I_2 \quad (4.19)$$

ба вуҷуд меояд (хатҳои магнитии майдони ҷараёни I_2 дар расми 4.7 бо хатҳои штрихӣ тасвир ёфтаанд). Ҳангоми тағйироти ҷараёни I_2 дар контури 1 ҚЭХ-и индуксионии:

$$\varepsilon_1 = -L_{12} \frac{dI_2}{dt} \quad (4.20)$$

тавлид меёбад.

Контурҳои 1 ва 2 ба ҳам алоқаманд мебошанд ва ҳодисаи ба вуҷуд омадани ҚЭХ дар яке аз контурҳо ҳангоми дар контури дигар тағйир ёфтани қувваи ҷараён *индуксияи тарафайн* ё худ ба ҳам *индуксия* ном гирифтааст.

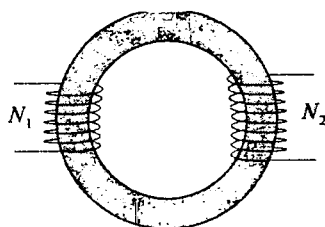
Коэффитсиентҳои мутаносибӣ L_{12} ва L_{21} *индуктивияти тарафайн* номида мешаванд. Ҳисобу китоби чиддӣ нишон медиҳад, ки ин ду коэффитсиент ҳам вақт ба ҳам баробаранд:

$$L_{12} = L_{21}. \quad (4.21)$$

Индуктивияти тарафайн ба шакл, андозаҳо ва мавқеи нисбат ба якдигар қойгиршавии контурҳо, инчунин ҳосиятҳои магнитии муҳити атрофи онҳо вобаста буда, бо ҳенрӣ ($Хи$)-ҳо ифода меёбад. Масалан, индуктивияти тарафайни ду ғалтаки бо дилаки умумии тороидӣ печонидашударо муайян менамоям (расми 4.8). Индуксияи магнитие, ки ғалтаки шумораи печаҳоаш N_1 ва қувваи ҷараёнаш мувофиқи (§3.12):

$$B_1 = \mu \mu_0 \frac{N_1}{l}, \quad (4.22)$$

ки дар он μ -нуфузпазирии нисбии дилак, l -дарозии ин дилак мебошанд.



Расми 4.8

Ақиқун ба эътибор мегирем, ки сели магнитӣ аз якто печан ғалтаки дуюм:

$$B_1 S = \mu \mu_0 \frac{N_1 I_1}{l} S$$

ва аз тамоми печахон ин ғалтак:

$$\Phi = N_2 B S = \mu \mu_0 \frac{N_1 N_2 I_1}{l} S$$

буда, онро чараёни I ба вучуд меорад. Аз ин рӯ:

$$L_{21} = \frac{\Phi}{I_1} = \mu \mu_0 \frac{N_1 N_2}{l} S \quad (4.23)$$

аст. Агар сели магнитии чараёни I_2 аз сатҳи печахон ғалтаки якум ба вучуд оварандаро ҳисоб намоем, айнан ифодаи (4.22) ҳосил мешавад. Пас, индуктивияти тарафайни ду ғалтаки ба дилаки умумии тороидӣ печонидашуда:

$$L_{12} = L_{21} = \mu \mu_0 \frac{N_1 N_2}{l} S \quad (4.24)$$

буданаш маълум мегардад.

Масъалаи 4.4. Ду ғалтаки индуктивӣ ба дилаки умумӣ печонида шудаанд. Агар дар яке аз ғалтакҳо қувваи чараён бо суръати $dI_1/dt = 5 \text{ A/c}$ тағйир ёбаду дар ғалтаки дуюм ҚЭХ-и индуксионии $\varepsilon_2 = 0,5 \text{ В}$ ангезонида шавад, индуктивияти тарафайни ғалтакҳо чӣ қадар будааст?

Маълумот:

$$\left. \begin{array}{l} \frac{dI_1}{dt} = 5 \text{ A/c} \\ |\varepsilon_2| = 0,5 \text{ В} \\ L_{12} = ? \end{array} \right\}$$

Ба назар мегирем, ки $L_{12} = L_{21}$ ва

$$|\varepsilon_2| = L_{21} \frac{dI_1}{dt},$$

аз ин рӯ:

$$L_{21} = \frac{|\varepsilon_2|}{dI_1/dt} = \frac{0,5 \text{ В}}{5 \text{ A/c}} = 0,1 \text{ Ҳн.}$$

мебошад.

Ҳал

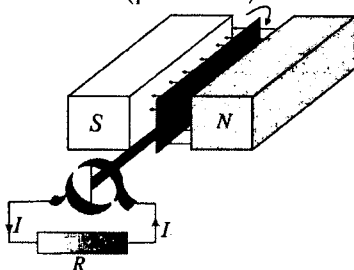
Ҷавоб: $L_{21} = 0,1 \text{ Ҳн.}$

§4.5. Ҷараёни тағйирёбанда

Ҷараёнҳое, ки тавассути элементҳои галванӣ, аккумуляторҳо, батареяҳои офтобӣ ҳосил карда мешаванд, рост ё доимӣ мебошанд, зеро самт ва қувваи онҳо бо мурури замон бетағйир мемонанд. Кутбҳои мусбату манфии манбаъҳои ҷараёнҳои доимии дар боло зикрфта дигар намешаванд.

Самт ва қувваи ҷараёнҳое, ки генераторҳои*) дар нерӯгоҳҳои барқии обӣ, стансияҳои ҳароратӣ шинондашуда ба вуҷуд меоранду барои равшанӣ, ба қор даровардани муҳаррик (мотор)-ҳои электрӣ, амали гармидиханда ва дастгоҳҳои дигари гуногуни электрӣ истифода мебаранд, бефосила, маротибҳои зиёд дар тӯли 1 с тағйир меёбанд.

Дар техникаи муосир аксар генераторҳои индуксионӣ, яъне мошинҳое, ки энергияи механикӣ ё ҳароратиро дар натиҷаи ҳодисаи индуксияи электромагнитӣ ба энергияи электрӣ табдил медиҳанд, қорбаст мешаванд. Бо принципи амали ин генераторҳо дар мисоли рамкаи нокилии ҳамвори 1, ки дар байни кутбҳои магнети доимӣ давр мезанад, шинос мешавем (расми 4.9).



Расми 4.9

Қисми ҳаракатманди генератор (дар мисоли мо рамка) *ротор* (аз латинии *rotare*-гардиш додан) ва ҷузъи беҳаракати он *статор* (магнети доимӣ аз латинии *stator*-оромистода) ном гирифтаанд.

Дар ду нӯги рамка ҳалқаҳои мисини бо ҳамроҳии рамка гардишхӯранда васл мебошанд. Аз рӯйи ҳалқаҳо лавҳаҳои ангиштӣ бо ёрии пружинаҳои пахшбуда мелағжанд. Истеъмолгарони энергияи электрӣ, мухтасар *қорбаст* (онро ба русӣ нагрузка мегӯянд) ба лавҳаҳо васланд. Сели магнитӣ аз сатҳи рамка:

$$\Phi = BS \cos \alpha = \Phi_m \cos \alpha \quad (4.25)$$

буданашро хотиррасон менамоем, ки дар ин ҷо B -индуксияи магнитӣ, S -масоҳати рамка, α -кунҷи байни нормали сатҳ ва вектори индуксия мебошад. Бузургии:

$$\Phi_m = BS \quad (4.26)$$

қимати зиёдтарин (*амплитудавӣ*)-и сели магнитӣ аст.

*) Аз латинии *generator* – истехсолкунанда, тавлидкунанда омадааст.

Агар сели магнитӣ тағйир ёбад, мувофиқи қонуни асосии индуксияи электромагнитӣ (§4.1) дар рамка ҚЭХ-и индуксионӣ ангезонида мешавад. Усули аз ҷиҳати техникӣ мусоидтарини тағйир додани сели магнитӣ ба ҳаракати чархзанӣ даровардани рамка мебошад. Ҳамин аст, ки ҳангоми бо суръати кунҷии ω мунтазам гардиш хӯрдани рамка кунҷи α мувофиқи формулаи $\alpha = \omega t$ ва аз ин рӯ сели магнити (4.25) мутобиқи қонуни:

$$\Phi = \Phi_m \cos \omega t \quad (4.27)$$

тағйир меёбад. Аз ин рӯ дар рамка ҚЭХ-и индуксионии:

$$\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt} = \omega \Phi_m \sin \omega t = \varepsilon_m \sin \omega t \quad (4.28)$$

ангезонида мешавад, ки дар он

$$\varepsilon_m = \omega BS = \omega \Phi_m \quad (4.29)$$

қимати амплитудавии ҚЭХ аст.

Ҳамин тарик, ҳангоми гардиши мунтазами рамка дар он ҚЭХ-и мувофиқи қонуни синус, яъне ба тарзи гармоникӣ тағйирёбанда ба вучуд меояд.

Аз формулаи (4.29) бармеояд, ки қимати амплитудавии ҚЭХ (аз ин рӯ ҳуди ҚЭХ низ) ба бузургҳои ω , B , ва S мутаносиби роства мебошад. Дар мамлакатҳои аврупоӣ, инчунин собиқ Иттиҳоди шӯравӣ басомади стандартӣ $\nu = \omega/2\pi = 50$ Ҳс (дар ИМА ва Канада $\nu = 60$ Ҳс) қабул шудааст. Барои ҳосил кардани ин қадар басомад ротор бояд дар як дақиқа ба қадри 3 000 гардиш намоад, ки аз ҷиҳати техникӣ басо мушқил мебошад. Аз ин рӯ дар НБО-ҳои пуриктидори муосир генераторҳои иктидорашон то 800 МВт (масалан, иктидори ҳар яке аз 9 агрегати НБО-и Норак 300 МВт) мерасад ва дар онҳо ҷараёнҳои қувваашон дахҳо ҳазор ампер ба вучуд меоянд, конструксияи дигари генераторҳо мавриди истифода қарор меёбад: ба ҷойи рамка ҳамчун ротор якчанд ҷуфт электромагнитҳои бештар бо ҷараёни доимӣ ғизогиранда қорбаст мешаванд. Ба сифати статор дар ин генераторҳо ғалтаҳои печаҳояшон зиёди аз симҳои ғафс таркибёфта (дар генераторҳои ба ном ҷараёнҳои сефаза сето ғалтаки нисбат ба якдигар тахти кунҷи 120° ҷойгирбуда) хизмат мекунанд. Дар ин маврид, агар ротор, масалан аз 16 ҷуфт электромагнит иборат бошад, барои ҳосил кардани басомади $\nu = 50$ Ҳс он дар як дақиқа ба қадри 187,5 маротиба гардиш хӯрданаши қорбаст.

Барои афзудани индуксияи магнитӣ дар электромагнитҳои ротор нуфузпазирии магниташон қалони μ ҷойгир мекунанд ва аз онҳо ҷараёнҳои қувваашон қалон сар медеҳанд.

Агар ба клеммаҳои генератор борбасти муқовиматаш R васл қарда шавад, аз он ҷараёни қуввааш мувофиқи қонуни:

$$I = \frac{\varepsilon_m}{R + r} \sin \omega t = I_m \sin \omega t \quad (4.30)$$

тағйирёбанда мегузарад, ки дар ин ҷо

$$I_m = \frac{\varepsilon_m}{R + r} = \frac{\omega BS}{R + r} \quad (4.31)$$

қимати амплитудавии қувваи ҷараён, r -муқовимати дохилии генератор мебошанд.

Бузургии:

$$\varphi = \omega t = 2\pi \nu t = \frac{2\pi}{T} t \quad (4.32)$$

фазаи чараёни тағйирёбанда, ν - басомад, T - даври он аст.

Бояд кайд кард, ки ҳангоми қимати зиёдтарин гирифтани сели магнитӣ (дар ин маврид хатҳои магнитӣ сатҳи рамкаро амудан бурида мегузаранд) қимати қувваи чараёни тағйирёбанда қимати баробари сифр ($I = 0$) мешавад. Тавре ки мегӯянд, фазаҳои тағйироти сели магнитӣ, ҚЭХ, инчунин қувваи чараён ба қадри 90° фарк мекунанд.

Ёдрас шудан бамаврид аст, ки сохти генераторҳои чараёни дойимӣ назар ба генераторҳои чараёнҳои тағйирёбанда фарқияти кулӣ надорад. Фақат дар генераторҳои чараёни дойимӣ ба ҷойи ду ҳалқаи яклухт ду нимҳалқаҳои аз ҳам ҷудо қорбаст мешаванду бас ва дар ҳоли ҳамчун ротор хизмат кардани электромагнитҳо ба ҳар як ҷуфти онҳо ду нимҳалқа васланд.

§4.6. Чараёнҳои Фуко

Чараёни индуксионӣ на танҳо дар ноқилҳои хаттӣ, балки дар ноқилҳои ғафси яклухт, ки хатҳои сарбасти майдони магнитии тағйирёбандаро дарбар мегиранд, ба вуҷуд меоянд. Ин гуна чараёнҳо, ки дар ғафсии ноқилҳо ангеzonида мешаванд, сарбастанд ва чараёнҳои *гирдобӣ* ё *чараёнҳои Фуко* ном гирифтаанд, зеро онҳоро олими фаронсавӣ Ж.Б. Фуко (1819-1868) ошкор сохта (с. 1855), усулҳои кам карданашонро пешниҳод намуда буд.

Чараёнҳои Фуко мувофиқи қоидаи Ленс самт мегиранд. Ҳамин аст, ки ноқилҳои ғафс дар майдони магнитӣ тормоз хӯрда, ба туфайли муқовимати калон доштанишон ба дараҷа баланд гарм мешаванд ва аксар чараёнҳои Фуко дар ин маврид зарароваранд. Барои кам кардани таъсири манфии чараёнҳои Фуко ҷузъҳои металлӣ, ки дар майдонҳои магнитии тағйирёбанда ҷойгиранд, масалан дилакҳои трансформаторҳоро аз варақаҳои алоҳидаи тунуки изолятсияпӯш тайёр мекунанд, дар натиҷа муқовиматашон кам мешавад.

Чараёнҳои Фуко барои обутоб додани ҷузъҳои аз металлӣ яклухт сохташаванда низ истифода мебаранд. Барои ин онҳоро дар майдонҳои магнитии бо басомади калон тағйирёбанда ҷойгир карда, то ҳадди зарурӣ метафсонанд. Гармии ҷоулу ленси, ки тавассути чараёнҳои Фуко хориҷ мешавад, дар кӯраҳои металлургӣ татбиқ ёфтааст.

Дар ҳуди ноқилҳое, ки аз онҳо чараёни тағйирёбанда ҷорист, чараёнҳои Фуко ба вуҷуд омада, ба тақсими номунтазамии чараён дар бурришгоҳи арзии ноқилҳо сабабгор мегарданд. Дар натиҷа чараёнҳои баландбасомад танг карда, ба қабатҳои сатҳии ноқил бароварда мешаванд. Ин ҳодиса *скин-эффекти электрӣ* ном гирифтааст (аз англисии skin-пӯст, қабат). Скин-эффект барои обутоб додани сатҳи пӯлодҳо, пурзӯр кардани майдони магнитӣ дар қабатҳои сатҳӣ низ истифода мешавад.

Хамтаъсиrotи чараёнҳои Фуко бо майдони магнитии баландбасомад боиси тақсимои номунтазами майдони магнитӣ дар дилакҳои магнитӣ мегарданд ва майдони магнитӣ аз ҳаҷми дилакҳо ба сатҳҳои онҳо танг карда бароварда мешавад, ки ин ҳодиса *скин-эффекти магнитӣ* номида мешавад. Ҳамин аст, ки чараёнҳои баландбасомад аз қабатҳои сатҳии нокилҳо қорӣ мешаванд, аз ин рӯ барои ингуна чараёнҳо нокилхоро дарунҳоӣ тайёр мекунамд.

§4.7. Занҷирҳои чараёни тағйирёбанда

Бо зудӣ дигар шудани самт ва қувваи чараёни тағйирёбанда боиси дар занҷир ба вучуд омадани хусусиятҳои муҳимтарини назар ба таъсиrotи чараёни дойимӣ фарқдошта мегардад. Аз ин рӯ баррасӣ кардани ҳодисаҳои дар резистор, конденсатор ва ғалтаки индуктивӣ рӯйдиҳанда ҳангоми ба манбаии шиддаташ тағйирёбанда пайваст буданашон аҳамияти муҳими амалӣ дорад.

Пеш аз ҳама бояд кайд кард, ки барои чараёнҳои басомадашон наҷандон зиёд (мувофики тадқиқоти ҷиддӣ то 10^6 Ҳс), хусусан чараёни басомадаш стандартӣ $\nu = 50$ Ҳс (ин гуна чараёнҳо *квазистатсионарӣ*, яъне гӯё чараёни дойимӣ ё ба дойимӣ наздик меноманд ва мо бештар ба онҳо сарукордор мешавем) қонунҳои Ом ва қоидаҳои Кирхгофро татбиқ кардан равоост.

1. Резистор дар занҷири чараёни тағйирёбанда. Фарз мекунем, ки дар баромадгоҳи манбаии шиддат (ҚЭХ)-аш мувофики қонунҳои гармоникӣ:

$$U = U_m \sin \omega t \quad (4.33)$$

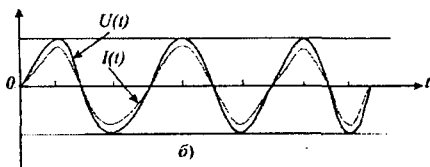
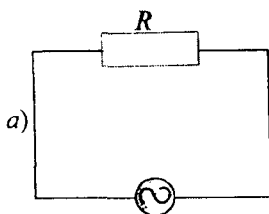
тағйирёбанда бевосита резистори муқовиматаш R ($C \rightarrow 0$, $L \rightarrow 0$) пайваст мебошад (расми 4.10, а). Дар ин ҷо U_m -қимати амплитудавии шиддат, ω -басомади тағйироти он аст. Тавре ки зикр ёфт, мувофики қонунҳои Ом барои қиматҳои лаҳзавии қувваи чараён ифодаи зеринро сабт карда метавонем:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{U_m}{R} \sin \omega t = I_m \sin \omega t. \quad (4.34)$$

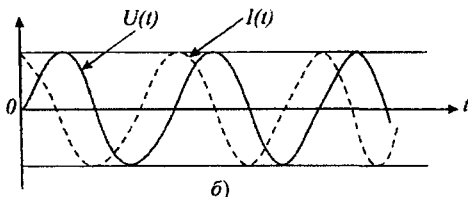
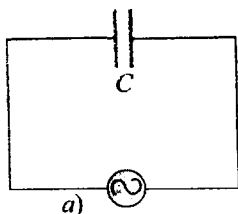
Дар ин ҷо:

$$I_m = \frac{U_m}{R} \quad (4.35)$$

қимати амплитудавии қувваи чараён аст. Аз (4.28) бармеояд, ки дар резистор тағйироти қувваи чараён ва шиддат бо фазаҳои баробар (ҳамзамон ё худ синхронӣ) рӯй медиҳанд (расми 4.10, б) ва ҳосили зарби UI қиматҳои манфӣ намегирад (ҳарчанд шиддат ва қувваи чараён алоҳида- алоҳида, вале ҳамзамон дорои қиматҳои манфӣ мешаванд). Энергияи чараён дар ин маврид асосан дар резистор ба гармии Ҷоулу Ленс табдил меёбад ва дар резистор захира намегардад. Ҳамин аст, ки резистор дар занҷири чараёни тағйирёбанда чун муқовимати фаъол рафтор мекунад.



Расми 4.10



Расми 4.11

2. Конденсатор дар занҷири ҷараёни тағйирёбанда. Ҳангоми конденсаторро бевосита ба манбаи ҷараёни дойимӣ (батарея) пайваست намудан бо сабаби дар байни рӯяҳо мавҷуд будани диэлектрик ё вакуум аз занҷир ҷараён намегузарад (ҳарчанд вобаста ба ғунҷоиши конденсатор ва шиддати манбаъ рӯяҳо микдоран баробар, вале гуногунс то ба шиддати манбаъ баробар гардидани фарқи потенциалҳои байни рӯяҳо аз занҷир ҷараёни хеле кӯтоҳмуддат мегузарад. Ҳамин аст, ки гальванометри ба ин гуна конденсатор пай дар пай васлбуда, баъди тақони хурди гузаштани ҷараёноро қайд намекунад). Агар ҳамин конденсаторро ба манбаи ҷараёни тағйирёбанда бевосита пайваст намоем (расми 4.11, а) чун дар мавриди ба ҷараёни дойимӣ васл буданаш аз диэлектрик ё вакууми байни рӯяҳо ҷараён намегузарад, аммо ҷароғаки тафсишии бо конденсатор пай дар пай васлбуда фурузон мешавад, яъне аз конденсатор гуё ҷараёни тағйирёбанда интиқол меёбад. Сабаб дар он аст, ки сараввал як рӯи конденсатор мусбатӣ рӯи дигар манфӣ зарядноку конденсатор пурра аз бори электрӣ ҳалос, яъне безаряд нагардида. қутбҳои манбаъ иваз мешаванд. Дар натиҷа зарядҳои рӯяҳо ба самтҳои муқобил ҳаракат мекунад ва ин раванд давраи тағйир меёбад. Ҳангоми басомади тағйироти ҷараёни саноатӣ ($\nu = 50$ Ҳс) чашми инсон пасту баландшавии тафсиши занҷирак (спирал)-и ҷароғакро пайҳас намекунад. Дар натиҷа ҷароғаки гуё бефосила фурузон аст.

Дар мавриди мувофиқи қонуни (4.33) тағйир ёфтани шиддат дар рӯяҳои конденсатор бузургии заряд низ мувофиқи қонуни гармоникӣ тағйирот мепазирад:

$$q = CU = CU_m \sin \omega t = q_m \sin \omega t, \quad (4.36)$$

ки дар ин ҷо:

$$q_m = CU_m \quad (4.37)$$

қимати амплитудавии заряди рӯяҳо мебошад. Аз ин рӯ қувваи ҷараён мувофиқи таъриф чун:

$$I = \frac{dq}{dt} = U_m C \omega \cos \omega t = I_m \cos \omega t = I_m \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) \quad (4.38)$$

тағйир меёбад, ки дар он

$$I_m = I_m C \omega \quad (4.39)$$

қимати амплитудавии қувваи ҷараён мебошад ва дар ҳоли бузургии зеринро ба сифати муқовимат пиндоштан (онро бо R_c , баъзан X_c ишорат мекунанд):

$$R_c = \frac{1}{\omega C} \quad (4.40)$$

таносуби (4.39)-ро чун қонуни Ом барои қиматҳои амплитудавии шиддати қувваи ҷараён доништан раво аст:

$$I_m = \frac{U_m}{R_c} \quad (4.41)$$

Барои ин воҳиди R_c -ро дар СИ месанҷем:

$$[R_c] = \frac{1}{\frac{1}{\text{C}} \cdot \Phi} = \frac{1}{\frac{1}{\text{C}} \cdot \frac{\text{В}}{\text{Кл}}} = \frac{\text{В}}{\frac{\text{Кл}}{\text{C}}} = \frac{\text{В}}{\text{А}} = \text{Ом}.$$

Яъне, воҳиди R_c дар СИ 1 Ом буданаш маълум мегардад. Ҳамин аст, ки онро муқовимати ғунҷоии меноманд. Бояд хотиррасон кард, ки ин муқовимат бар ҳилофи муқовимати фаъоли R ғайрифавол мебошад, зеро дар он энергия хориҷ намешавад. Дарвоқеъ, қимати миёнаи ҳосили зарби IU дар тӯли як даври тағйироти онҳо дар ҳоле, ки занҷири ҷараёни тағйирёбанда танҳо конденсаторро дарбар мегирад, баробари сифр аст:

$$\langle IU \rangle = \langle I_m U_m \sin \omega t + \cos \omega t \rangle = \langle I_m U_m \frac{1}{2} \sin 2\omega t \rangle = 0.$$

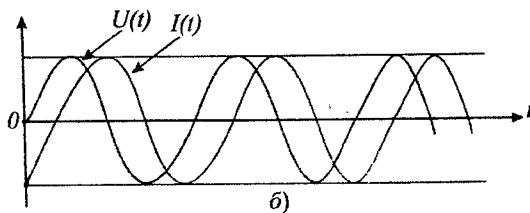
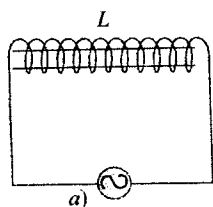
Зеро замоне ки шиддат аз қимати сифр то қимати зиёдтаринаш U_m меафзояд, қувваи ҷараён аз қимати зиёдтаринаш I_m то 0 кам мешавад ва баръакс. Ин ҳулоса бо он тасдиқ мегардад, ки тағйироти фазаҳои ин ду бузург ба қадри $\pi/2$ фарқдоранд (ниг. ба расми 4.11, б): дар чоряки аввали давр энергияи манбаъ дар майдони электрии байни рӯяҳои конденсатор захира гардида, сипас майдон суст мешаваду энергия ба манбаъ бармегардад ва талафоти энергия (дар ҳоли $R=0$ будан) дар ин раванд ба вуҷуд намеояд. Ҳол он ки дар резистор, тавре ки зикр ёфт, энергия бе бозгашт ба гармӣ табдил меёбад.

Қайд кардан бамаврид аст, ки барои $\omega=0$ (ҷараёни дойимӣ) муқовими ғунҷоии R_c [ниг. ба (4.40)] беҳад зиёд мешавад ($R_c \rightarrow \infty$), яъне аз конденсатор ҷараёни дойимӣ нагузаштанаш тасдиқ мегардад.

3. Индуктивият дар занҷири ҷараёни тағйирёбанда. Дар ҳоли ба баромадгоҳи манбаи шиддаташ мувофиқи қонуни (4.33) тағйирёбанда бевосита ($C \rightarrow 0$, $R \rightarrow 0$) пайваст кардани ғалтаки индуктивияташ L (расми 4.12, а) дар он ҚЭХ-и худиндуксияи $\mathcal{E}_s = -L \frac{dI}{dt}$ ангеzonида мешавад, ки ба тағйироти шиддати ин ҚЭХ-

ро ангезонанда мувофики қоидаи Ленс таъсироташ баръакс аст. Аз ин рӯ дар асоси қоидаи дуёми Кирхгоф ифодаи зеринро сабт карда мегардонем:

$$U + \varepsilon_s = IR.$$



Расми 4.12

Мавриди ба эътибор нагирифтани муқовимати ғаъоли ноқилҳои васлсозӣ ва печаҳои ғалтак ($R = 0$) ин муодила намуди зерин мегарад:

$$U = L \frac{dI}{dt},$$

ки онро ба назардошти (4.33) чун:

$$dI = \frac{U}{L} dt = \frac{U_m}{L} \sin \omega t dt$$

пешниҳод кардан мумкин аст. Баъди интегрронии ин ифода қонуни тағйироти қувваи ҷараёно ҳосил мекунем:

$$I = -\frac{U_m}{L\omega} \cos \omega t = -\frac{U_m}{R_L} \cos \omega t = \frac{U_m}{R_L} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) = I_m \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right), \quad (4.42)$$

ки дар ин ҷо

$$I_m = \frac{U_m}{L\omega} = \frac{U_m}{R_L} \quad (4.43)$$

қимати амплитудавии қувваи ҷараён асту онро чун ифодаи қонуни Ом барои қиматҳои амплитудавӣ қувваи ҷараёну шиддат доништан равоаст.

Бузургии:

$$R_L = \omega L \quad (4.44)$$

муқовимати индуктивӣ ном гирифтааст (санҷиши воҳиди онро ба ҳонандаи арҷманд воmegузоре).

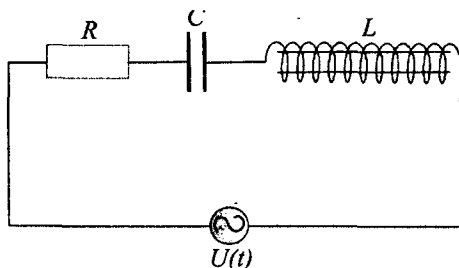
Ҳамин тариқ, дар занҷири ҷараёни тағйирёбандаи дорои ғалтаки индуктивӣ тағйироти қувваи ҷараён назар ба шиддат бо фаза ба қадри $\pi/2$ қафо мемонад (расми 4.12, б). Шарҳи ин ҳодиса аз ҷидаи физикавӣ душвор нест. Сабабгори асосӣ ҚЭХ-и худиндуксия аст. ки мувофиқи қоидаи Ленс таъсироти муқобил меоварад. Дарвоқеъ, аз ифодаи муқовимати индуктивӣ (4.44) бармеояд, ки ҳар қадар ω ва L зиёд бошанд, ҳамон қадар ҚЭХ-и худиндуксияи аксумали худиндуксионии қалонтар ангезонида мешавад.

Ҳотирнишон кардан бамаврид аст, ки муқовимати индуктивӣ низ ғайрифавол аст. Зеро дар ин маврид ҳам қимати миёнаи ҳосили зарби IU дар тӯли як даври тағйироти қувваи ҷараёну шиддат

баробари сифр аст. Зеро дар ғалтаки индуктивӣ баробари аз он гузаштани ҷараён майдони магнитӣ ба вуҷуд меояд, ки дар он энергияи манбаъ захира меёбаду сипас ба кадри суғшудани майдон ин энергия ба манбаъ бармегардад.

§4.8. Қонуни Ом барои ҷараёни тағйирёбанда

Занҷири аз резистори муқовиматаш R , конденсатори ғунҷоишаш C ва ғалтаки индуктивияташ L -и пай дар пай васлбудава ба баромадгоҳи манбаи шиддаташ мувофиқи қонуни ғармоникии (4.33) тағйирёбанда пайвастро баррасӣ менамоям (расми 4.13).

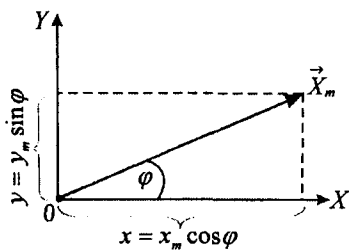


Расми 4.13

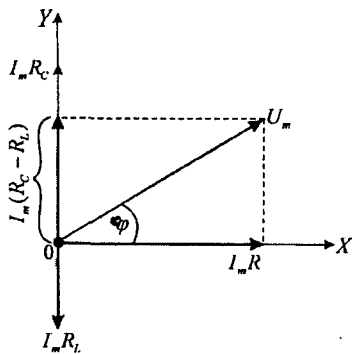
Дар ин маврид қимати лаҳзавии қувваи ҷараён дар ҳамаи ин ҷузъҳо якандоза буда, ҳосили ҷамъи афтишҳои шиддат дар онҳо ба шиддати манбаъ баробар аст:

$$U = U_R + U_C + U_L. \quad (4.45)$$

Тавре ки дар алоҳидагӣ муҳокима кардем (§4.7), ҳар яке аз ин шиддатҳо мувофиқи қонуни ғармоникии бо фазашон фарқдошта тағйир меёбанд. Барои дарёфтани ҳосили ҷамъи (4.45) истифодаи диаграммаи векторӣ мусоид аст, зеро дар ин гуна диаграмма ҳар як функсияи ғармоникӣ бо проексияи вектор дар самте тасвир карда мешавад, ки нисбат ба он вектор бо суръати қунҷи бо басомади тағйироти функсия баробар ғардиш меҳӯраду модулаш ба қимати амплитудавии функсия баробар мебошад (расми 4.14).



Расми 4.14



Расми 4.15

Аз ин рӯ шиддаҳои зикрфтаро мувофикан чун:

$$U_R = I_m R \sin \omega t;$$

$$U_C = \frac{I_m}{C\omega} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = I_m R_C \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right);$$

$$U_L = I_m \omega L \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) = I_m R_L \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

пешниҳод карда, диаграммаи вектории дар расми 4.15 тасвирфтаро тартиб дода метавонем. Мувофики ин диаграмма бо истифодаи теоремаи Пифагор:

$$U_m^2 = (I_m R)^2 + I_m^2 (R_C - R_L)^2,$$

аз ин ҷо:

$$I_m = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + (R_C - R_L)^2}} = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C} - \omega L\right)^2}} \quad (4.46)$$

буданаш маълум мегардад. Ин формула қонуни Ом барои қиматҳои амплитудавии қувваи ҷараёну шиддатро дар занҷири ҷараёни тағйирёбанда ифода менамояд. Азбаски қиматҳои амплитудавӣ назар ба қиматҳои самарабахш (эффektivӣ) $\sqrt{2}$ маротиба зиёд аст, формулаи (4.46)-ро барои қиматҳои самарабахш низ истифода бурдан раво аст:

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C} - \omega L\right)^2}}, \quad (4.47)$$

ки дар он бузургии

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C} - \omega L\right)^2} \quad (4.48)$$

муқовимати пурраи занҷири ҷараёни тағйирёбанда мебошад. Онро баъзан *импеданс* (аз англисии impedance, олмонии Impedanz, латиниасоси impedire-муқобилият нишон додан) меноманд.

Аз расми 4.15 фарқи фазаҳои тағйироти қувваи ҷараён ва шиддат φ -ро муайян карда метавонем:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{R_C - R_L}{R} = \frac{\frac{1}{\omega C} - \omega L}{R}. \quad (4.49)$$

Ҳамин тариқ, агар шиддат (ҚЭХ) дар занҷир мувофики (4.33) тағйир ёбад, қимати лаҳзавии қувваи ҷараён мувофики қонуни:

$$I = I_m \sin(\omega t - \varphi) \quad (4.50)$$

дигар мешавад.

Дар ҳоли $R_C = R_L$ ё $L\omega = \frac{1}{\omega C}$ ё худ:

$$\omega_{\text{рез}} = \sqrt{LC} \quad (4.51)$$

будан қувваи ҷараён қимати зиёдтарини имконпазир мегирад. Дар ин маврид афтиши шиддат дар резистор ба шиддати берунии дар занҷир гузошташуда баробар аст ($U_R = U$), афтиши шиддат дар конденсатор (U_C) ба афтиши шиддат дар галтак (U_L) баробар, вале муқобилфаза мебошад. Ин ҳодиса *резонанси шиддатҳо* (резонанси пай дар пай) ном гирифтааст. Басомади бо ифодаи (4.51) муайяншавандаро *басомади резонансӣ* меноманд.

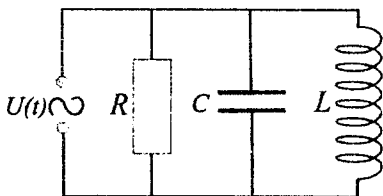
Ҳангоми резонанс дар байни қувваи ҷараён ва шиддат фарқи фаза вучуд надорад ва муқовимати пурраи занҷир қимати камтарини ба муқовимати фаъл баробарро мегирад.

Ҳодисаи резонанси зикрфта дар қабули сигналҳои радио, телевизион ва телефонҳои мобилӣ васеъ истифода мешавад.

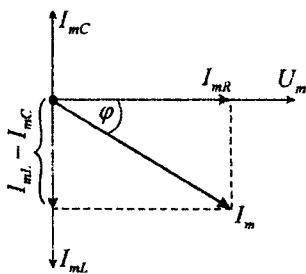
Қиматҳои лаҳзавии шиддатро дар ҷузъҳои алоҳидаи занҷир бо истифодаи диаграммаи вектории дар расми 4.15 тасвирфта муқаррар кардан душвор нест:

$$\left. \begin{aligned} U_R &= I_m R \sin(\omega t - \varphi); \\ U_C &= \frac{I_m}{\omega C} \sin\left(\omega t - \varphi + \frac{\pi}{2}\right); \\ U_L &= I_m \omega L \sin\left(\omega t - \varphi - \frac{\pi}{2}\right). \end{aligned} \right\} \quad (4.52)$$

Акнун занҷири ҷараёни тағйирёбандаро, ки муқовимати фаъл R , конденсатори C ва галтаки индуктивии L -и параллелан васлбударо дарбар мегирад, баррасӣ менамоем (расми 4.16).



Расми 4.16



Расми 4.17

Дар ин маврид ҳам чун дар мавриди пайвасти пай дар пайи ҷузъҳо аз диаграммаҳои векторӣ истифода бурдан мусоид аст. Шиддат дар ҳама ҷузъҳои параллелӣ васлбуда ҳамон як қимати ба шиддати $U(t)$ баробар гирифтанаширо хотиррасон менамоем. Қувваи ҷараён дар ҳар қитъаи тақсимнашудаи занҷир ба ҳосили ҷамъи алгебравии қувваҳои ҷараён дар ҷузъҳои параллелӣ васлбуда баробар аст (қойидаи якуми Кирхгоф барои қиматҳои лаҳзавии қувваи ҷараён):

$$I = I_R + I_C + I_L. \quad (4.53)$$

Азбаски ҷараён дар R бо шиддати $U(t)$ ҳамфаза, ҷараёни аз конденсатор гузаранда назар ба шиддат бо фаза бо қадри $\pi/2$ пештар

мебошад, вале дар галтаки индуктивӣ хамин кадар кафо мемонад, диаграммаи вектории ба ин занҷир мувофиқ намуди дар расми 4.17 тасвирёфта ро мегирад. Ба эътибор мегирем, ки:

$$U_m = I_{mR} R = \frac{I_{mC}}{\omega C} = I_{mL} \omega L \quad (4.54)$$

мебошанд, аз ин рӯ мувофиқи диаграммаи дар расми 4.17 тасвирёфта барои қимати амплитудавии қувваи ҷараён дар қисми тақсимнашудаи занҷир I_m ва фарқи фазаҳои ин ҷараёнҳо ва шиддати U_m ифодаҳои зеринро дарёфта метавонем:

$$I_m = U_m \sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{\omega L} - \omega C \right)^2}; \quad (4.55)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = R \left(\frac{1}{\omega L} - \omega C \right). \quad (4.56)$$

Ҳамин тариқ, қувваи ҷараён дар қисми тақсимнашудаи занҷир:

$$I(t) = I_m \sin(\omega t - \varphi) \quad (4.57)$$

мебошад, ки да ин ҷо I_m ва φ бо формулаҳои (4.55) ва (4.56) муайян карда мешаванд.

Диаграммаи векторӣ имкон медиҳад, ки қиматҳои лаҳзавии қувваҳои ҷараён дар ҷузъҳои алоҳидаи занҷирро муқаррар намоем:

$$I_R = \frac{U_m}{R} \sin \omega t;$$

$$I_C = U_m \omega C \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) = \frac{U_m}{R_C} \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right); \quad (4.58)$$

$$I_L = \frac{U_m}{\omega L} \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) = \frac{U_m}{R_L} \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right).$$

Ҳангоми баробарии муқовиматҳои индуктивию ғунҷоишӣ, яъне

$\omega L = \frac{1}{\omega C}$ фарқи фазаҳои байни қувваи ҷараён дар қисми тақсимнашудаи занҷир ва шиддат баробари сифр ($\varphi = 0$) мешавад, Қувваҳои ҷараёнҳои I_C ва I_L модулан баробаранд ва бо сабаби муқобилфаза буданашон қувваи ҷараён дар қисми тақсимнашудаи занҷир ба қувваи ҷараён дар муқовимати ғазол баробар ҳисоб мешавад.

Қайд кардан бамаврид аст, ки қувваи ҷараёнҳои I_L ва I_C дар қисмҳои алоҳидаи занҷир назар ба қувваи ҷараён дар ноқилҳои васлсозӣ ҳеле зиёд буда метавонад. Ин гуна ҳодиса *резонанси ҷараёнҳо* (ё худ *резонанси параллелӣ*) ном гирифтааст. Дар ин маврид мубодилаи энергия дар байни майдонҳои электрию магнитии мувофиқан дар байни рӯяҳои конденсатор ва андаруни галтаки индуктивӣ вучуддошта рӯй медиҳаду манбайи ҷараён танҳо талафи энергияро, ки ҷун гармии Ҷоулу Ленс дар муқовимати ғазол хориҷ мешавад, пардохт менамояд. Агар муқовимати R -ро аз занҷир гирифта партоем ($R \rightarrow \infty$), он гоҳ талафоти энергия дар ин гуна занҷири идеалӣ барҳам меҳӯрад. Дар ин маврид ҳангоми $\omega_{\text{рез}} = 1/\sqrt{LC}$ муқовимати пурраи

занчир беҳад зиёд меафзояд. Ин ҳодиса дар техника татбиқи васеъ ёфтааст.

Мисоли 4.5. Дар занчирӣ чараёни тағйирёбандаи басомадаш $\nu = 50$ Ҳс дар мавриди $L = 0,2$ Ҳн будан вольтметр қимати сифриро ($U_V = 0$) нишон медиҳад (расми 4.18). Ҳангози конденсатор чӣ қадар будааст?

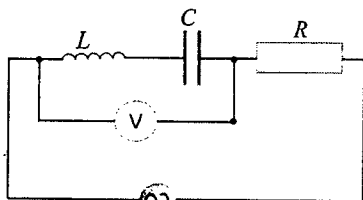
Маълумот:

$\nu = 50$ Ҳс

$L = 0,2$ Ҳн

$U_V = 0$

$C = ?$



Расми 4.18

Ҳал

Мувофиқи нишондоди вольтметр $U_L - U_C = U_V = 0$ мебошад. Агар $U_L = IR_L$; $U_C = IR_C$; $R_L = \omega L$; $R_C = \frac{1}{\omega C}$; $\omega = 2\pi\nu$ буданашонро ба эътибор гирем, $R_L = R_C$ аст. Аз ин рӯ $\omega L = \frac{1}{\omega C}$,

пас:

$$C = \frac{1}{\omega^2 L} = \frac{1}{4\pi^2 \nu^2 L} = \frac{1}{4 \cdot 3,14^2 \cdot \left(50 \frac{1}{\text{с}}\right)^2 \cdot 0,2 \text{ Гн}} = 0,00005066 \text{ Ф} = 50 \text{ мкФ}$$

будаст.

Ҷавоб: $C = 50 \text{ мкФ}$.

Мисоли 4.6. Ба занчире, ки аз ғалтаки индуктивияташ $L = 0,5$ Ҳн, муқовимати фаъоли $R = 10$ Ом ва конденсатори ғунҷоишаш $C = 22,5$ мкФ-и пай дар пай васлбуда таркиб ёфтааст, манбаии берунаи тағйирёбандаи қимати амплитудавии шиддаташ $U_m = 180$ В ва басомадаш стандартӣ ($\nu = 50$ Ҳс) пайваст мебошад. Бузургҳои: 1) қимати амплитудавии қувваи чараён I_m ; 2) қимати амплитудавии афтиши шиддат дар ғалтак U_{mL} ; 3) қимати амплитудавии афтиши шиддат дар конденсатор U_{mC} ; 4) фарқи фазаҳои байни қувваи чараён ва шиддати беруна φ муайян карда шаванд.

•

Маълумот:

$$\nu = 50 \text{ Ҳс}$$

$$L = 0,5 \text{ Ҳн}$$

$$R = 10 \text{ Ом}$$

$$C = 22,5 \text{ мкФ} = 22,5 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$$

$$U_m = 180 \text{ В}$$

$$I_m - ?$$

$$U_{mL} - ?$$

$$U_{mC} - ?$$

$$\varphi - ?$$

Ҳал
Қимати амплитудавии
қувваи ҷараёни мувофиқи
қонуни Ом бо формулаи:

$$I_m = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + (R_L - R_C)^2}}$$

муайян карда метавонем, ки дар
ин ҷо:

$$R_L = \omega L = 2\pi\nu L = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot \frac{1}{c} \cdot 0,5 \text{ Гн} =$$
$$= 157 \text{ Ом};$$

$$R_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi\nu C} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot \frac{1}{c} \cdot 22,5 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}} = 141,5 \text{ Ом}$$

мувофиқан муковиматҳои индуктивӣ ва ғунҷоишӣ мебошанд. Пас,

$$I_m = \frac{180 \text{ В}}{\sqrt{(10 \text{ Ом})^2 + (157 \text{ Ом} - 141,5 \text{ Ом})^2}} = \frac{180}{18,45} \text{ А} = 9,76 \text{ А}.$$

Аз ин рӯ афтиши шиддатҳои матлуб:

$$U_{mL} = I_m R_L = 9,76 \text{ А} \cdot 157 \text{ Ом} = 1532 \text{ В};$$

$$U_{mC} = I_m R_C = 9,76 \text{ А} \cdot 141,5 \text{ Ом} = 1381 \text{ В}$$

мебошанд.

Акнун ёфтани фарқи фазаҳои тағйироти қувваи ҷараён ва шиддати беруна душвор нест:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{R_L - R_C}{R} = \frac{157 \text{ Ом} - 141,5 \text{ Ом}}{10 \text{ Ом}} = 1,55 \text{ ва } \varphi \approx 57^\circ.$$

Ҷавоб: $I_m = 9,76 \text{ А}$; $U_{mL} = 1532 \text{ В}$; $U_{mC} = 1381 \text{ В}$; $\varphi \approx 57^\circ$.

§4.9. Иқтидоре, ки дар занҷири ҷараёни тағйирёбанда вусъат дода мешавад

Қиматҳои лаҳзавии иқтидор (тавноӣ)-и ҷараёни тағйирёбандаро ба мисли иқтидори ҷараёни доимӣ бо ҳосили зарби қиматҳои лаҳзавии шиддат ва қувваи ҷараён муайян мекунанд:

$$P(t) = U(t)I(t). \quad (4.59)$$

Агар шиддат дар занҷир мувофиқи қонуни гармоникӣ:

$$U = U_m \sin \omega t \quad (4.60)$$

тағйир ёбад, тавре ки дар §4.8 нишон додем, фазаи тағйироти қувваи ҷараён дар занҷир назар ба тағйироти шиддат ба қадри φ фарқ карда метавонад:

$$I = I_m \sin(\omega t - \varphi). \quad (4.61)$$

Аз ин рӯ формулаи (4.59) намуди зерин мегирад:

$$\begin{aligned}
 P(t) &= U_m I_m \sin \omega t \cdot \sin(\omega t - \varphi) = U_m I_m \sin \omega t (\sin \omega t \cos \varphi - \cos \omega t \sin \varphi) = \\
 &= U_m I_m (\sin^2 \omega t \cos \varphi - \sin \omega t \cos \omega t \sin \varphi).
 \end{aligned}
 \tag{4.62}$$

Дар амалия на кимати лахзавӣ, балки кимати миёнаи иктидор дар гули як давр тағйироти шиддати ҷараён аҳамият дорад. Агар ба эътибор гирем, ки $\langle \sin^2 \omega t \rangle = 1/2$, $\langle \sin \omega t \cos \omega t \rangle = \langle (1/2) \sin 2\omega t \rangle = 0$ мебошанд, барои кимати миёнаи иктидор ифодаи зерин ҳосил мешавад:

$$\langle P \rangle = \frac{1}{2} I_m U_m \cos \varphi. \tag{4.63}$$

Мувофиқи диаграммаи вектории дар расми 4.15 тасвирёфта:

$$\cos \varphi = \frac{I_m R}{U_m}$$

мебошад, аз ин рӯ формулаи (4.63)-ро чун:

$$\langle P \rangle = \frac{1}{2} I_m^2 R \tag{4.64}$$

пешниҳод карда метавонем. Ҳамин қадар иктидорро ҷараёни доимии қуввааш:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

вусъат медиҳад.

Бузургҳои:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \text{ ва } U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \tag{4.65}$$

киматҳои самарабахш (*ё* эффективӣ)-и мувофиқан қувваи ҷараён ва шиддати тағйирёбанда ном гирифтаанд. Тамоми асбобҳои андозагир: амперметр, вольтметр, ваттметр ва ғайра маҳз киматҳои самарабахши бузургҳои ро нишон медиҳанд.

Ҳамин тарик, кимати миёнаи иктидоре, ки дар занҷири ҷараёни тағйирёбанда вусъат дода мешавад, чунин намуд мегирад:

$$\langle P \rangle = IU \cos \varphi. \tag{4.66}$$

Дар он зариби $\cos \varphi$ *коэффициенту иқтидор* ном дорад.

Яъне иктидоре, ки дар занҷири ҷараёни тағйирёбанда вусъат дода мешавад, на фақат ба киматҳои қувваи ҷараён ва шиддат, балки ба фарқи фазаи тағйироти онҳо низ вобаста аст. Агар дар занҷир муқовиматҳои реактивӣ (R_c ва R_L) набошанд, $\cos \varphi = 1$ ва $\langle P \rangle = IU$ мешавад. Дар ҳоли занҷир танҳо дорои муқовиматҳои реактивӣ буданаш ($R = 0$) кимати миёнаи иктидор баробари сифр аст ($\langle P \rangle = 0$). Дар ин маврид шиддат ва қувваи ҷараён ҳар қадар бузург бошанд ҳам, дар занҷир иктидор вусъат намеебад. Дар ҳоли $\cos \varphi \ll 1$ будан интиқоли иктидор ҳангоми шиддати маълум қувваи ҷараёнро зиёд кардан лозим меояд, ки ба афзудани гармии Ҷоул-Лентсӣ меорад ва ин ҳол ҳар чӣ ғафстар гирифтани масоҳати буриши арзии ноқилҳои интиқолиро тақозо менамояд. Дар натиҷа нархи нақли энергияи электрӣ меафзояд. Аз ин рӯ дар амалия кӯшиш мекунамд, ки

қимати $\cos \varphi$ ҳарчӣ калонтар шавад. Қимати камтарини ҷоизавии он дар дастгоҳҳои саноатӣ тақрибан 0,85-ро ташкил медиҳад.

Мисоли 4.7. Ҳангоми 500 кВ будани шиддати самарабахш изоляторҳои хати нақли ҷараёно бояд ба кадом шиддат мувофиқ намуд?

Маълумот:

$$\frac{U = 500 \text{ кВ}}{U_{\max} - ?}$$

Ҳал

Шиддати матлуб назар ба шиддати хатҳои интиқоли бояд ба кадри:

$\sqrt{2}$ маротиба зиёд бошад:

$$U_{\max} = \sqrt{2}U = 710 \text{ кВ}.$$

Ҷавоб: $U_{\max} = 710 \text{ кВ}.$

Мисоли 4.8. Вобаста ба вақт қонуни тағйироти қувваи ҷараён бо муодилаи $I = 5 \sin 200\pi$ тасвир карда мешавад. Басомад ва даври тағйирот, қимати амплитудавии қувваи ҷараён, инчунин қимати лаҳзавии қувваи ҷараёно ҳангоми фазаи $\varphi = \frac{\pi}{3} \text{ рад}$ муайян намоед.

Маълумот:

$$I = 5 \sin 200\pi$$

$$\varphi = \frac{\pi}{3} \text{ рад} = 60^\circ$$

$$T - ? \quad \nu - ?$$

$$I_m - ? \quad I - ?$$

Ҳал

Агар қонуни тағйироти дар масъала додашударо бо муодилаи тағйироти қувваи ҷараён дар намунаи умумӣ:

$$I = I_m \sin \omega t = I_m \sin \varphi$$

муқоиса намоем, ёфтани

бузургҳои

матлуб душвор нест: $I_m = 5 \text{ А};$

$\omega = 200\pi$, аз ин ҷу $2\pi \nu = 200\pi$ ва

$\nu = 100 \text{ Ҳс},$

$$T = \frac{1}{\nu} = \frac{1}{100} \text{ с} = 0,01 \text{ с} = 10 \text{ мс};$$

$$I = 5 \sin 200\pi = 5 \sin 60^\circ = 5 \cdot 0,866 \text{ А} \approx 4,3 \text{ А}.$$

Ҷавоб: $T = 10 \text{ мс}; \nu = 100 \text{ Ҳс}; I_m = 5 \text{ А}; I = 4,3 \text{ А}.$

§4.10. Ҷараёни сефаза

Ҳоло дар тамоми ҷаҳон системаи ҷараёни сефаза номгирфта васеъ татбиқ ёфтааст. Ин система шароити мусоид ва ниҳоят муфиди тавассути симҳои интиқоли энергияи электрофиро фароҳам меоварад ва хеле содда аст: он аз сето занҷире иборат небошад, ки дар онҳо ҚЭҲ-

хои бо ҳамон як басомад тағйирёбандаи нисбати якдигар ба кадри $1/3$ давр ($\varphi = 2\pi/3$) фарқдошта амал мекунанд. Ҳар як занҷири алоҳидаи системаро мухтасар *фаза* ва маҷмӯи чараёнҳои фазашон фарқдоштаро *чараёни сефаза* меноманд.

Анкариб тамоми генераторҳои дар стансияҳои электрии муосир ҷойгирбуда генераторҳои сефаза мебошанд.

Схемаи сохти генератори чараёни сефаза да расми 4.19 тасвир ёфтааст.

Ҳамчун ангеzonанда-индуктор шартан магнити дойимии NS нақш мебозад. Дар амал ба сифати индуктор ротори аз электромагнитҳо таркибёфта (ба §4.5 ниг.) истифода мешавад.

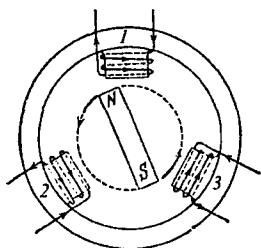
Хангоми чархзании ротор дар ҳар як ғалтак, ки минбаъд бо Π_1 , Π_2 ва Π_3 ишорат мешаванд, ҚЭХ-ҳои ε_1 , ε_2 ва ε_3 -и дар байнашон фарқи фазаҳои 120° ва 240° ангеziш меёбанд. Агар ҚЭХ дар печайи Π_1 мувофиқи қонуни:

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_m \sin \omega t$$

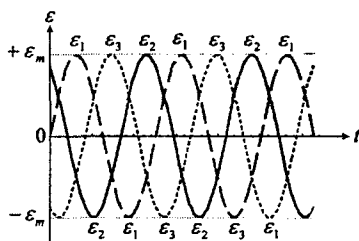
тағйир ёбад, дар ду печайи дигар ҚЭХ-ҳои:

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_m \sin(\omega t - 120^\circ), \quad \varepsilon_3 = \varepsilon_m \sin(\omega t - 240^\circ)$$

ангеzonида мешаванд, ки дар расми 4.20 ба тарзи графикӣ тасвир ёфтаанд.



Расми 4.19

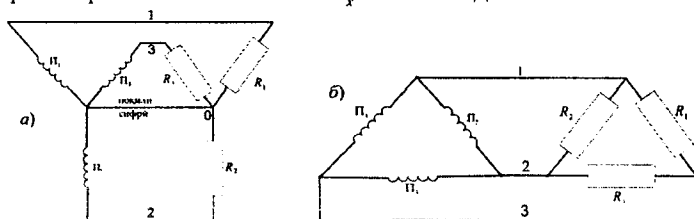


Расми 4.20

Ҳар яке аз печайҳо бо муқовиматҳои борбастии R_1 , R_2 ва R_3 (муқовиматҳои асбобҳои истеъмолгарони энергияи электрӣ) васл сохта, сето чараёни тағйирёбандаи дар байнашон фарқи фазаҳои катъӣ дойимӣ мавҷудбударо ҳосил кардан мумкин аст. Агар ҳар як ғалтаки генератор алоҳида ба алоқамандии якдигар истифода шаванд, назар ба генератори якфаза ягон бартарие надорад. Баръакс, барои ба истеъмолгарон расондани энергияи электрии ин гуна генераторҳо се ҷуфт ноқил (сим) лозим мешаванд. Вале печайи генераторҳоро бо як тарзи муайян васл сохта, барои интиқол ва истифодабарии энергияи электрии дар электростансияҳо истеҳсолшуда шароити басо мусоид фароҳам овардан мумкин аст.

Ду навъи ба ҳам васлсозии ғалтакҳо-яке *васли ситораӣ*, дигаре *сеқунҷавӣ* ном гирифтaro қорбасти менамоянд. Дар васли ситораӣ ибтидои печакҳои ҳар се ғалтак дар як нуқта ба ҳам оварда мешаванд. Якто сими ба ин нуқта васлбударо *ноқили сифрӣ* ва се сими дигари ба нӯгҳои дуҷоми ғалтакҳо пайвастаро *ноқилҳои фазавӣ* меноманд. Дар расми 4.21, *a* васли ситораӣ бо борбастиҳои R_1 , R_2 ва R_3 , ки низ ба

тарзи ситораи пайвастанд, тасвир ёфтааст. Дар он нокилҳои 1, 2 ва 3 нокилҳои фазаӣ мебошанд. Шиддати байни нокили сифрӣ ва нокилҳои фазаӣ *шиддати фазаӣ* U_ϕ , шиддати байни нокилҳои фазавиро *шиддати хаттӣ* U_x меноманд.



Расми 4.21

Фарз мекунем, ки генератор ба борбастҳо васл нест ($R_1 = R_2 = R_3 = \infty$). Таносуби байни шиддати фазаӣ, (ки дар ҳар як печакҳои Π_1 , Π_2 ва Π_3 мавҷуд аст) ва шиддатҳои хаттӣ (дар байни нокилҳои 1, 2, 3 вучуддошта)-ро муайян менамоем.

Шиддати хаттӣ дар байни нокили сифрӣ ва нокилҳои дигар ба шиддати фазаӣ баробар ва қимати амплитудавиаш ε_m буданаш маълум аст. Вале шиддати хаттӣ байни ҳар гуна ҷуфти нокилҳои 1, 2 ва 3 дигар мебошад. Чунончӣ, барои ҷуфти нокилҳои 1 ва 3 ба фарқи потенциалҳои нӯғҳои озоди печакҳои Π_1 ва Π_2 баробар аст:

$$\varepsilon = \varepsilon_m \sin \alpha - \varepsilon_m \sin(\alpha - 120^\circ) = 2\varepsilon_m \sin 60^\circ \cos(\alpha - 60^\circ) = 2\varepsilon_m \sin 60^\circ \cos(\alpha - 60^\circ).$$

Вале

$$\sin 60^\circ = \sqrt{3}/2, \quad \cos(\alpha - 60^\circ) = \sin(\alpha + 30^\circ)$$

мебошанд. Аз ин рӯ:

$$\varepsilon = \varepsilon_m \sqrt{3} \sin(\alpha + 30^\circ)$$

аст. Пас, шиддати хаттӣ бо ҳамон басомади ω тағйир меёбаду амплитудаш $\sqrt{3}$ маротиба назар ба шиддати фазаӣ зиёдтар буданаш маълум мешавад. Ҳамин тариқ, ҳангоми васли ситораи генератор шиддатҳои фазавӣ ε_m ва $\sqrt{3}\varepsilon_m$ -ро ҳосил кардан мумкин мебошад.

Фарз мекунем, ки генератор ба борбастҳои баробари низ ба тарзи ситораи пайваст (борбастии симметрӣ) васл мебошад (расми 4.21. а). Дар ин маврид дар ҳар яке аз нокилҳои 1, 2 ва 3 амплитудан қувваҳои ҷараёнҳо ба I_m баробар, буда, мувофиқи қонунҳои:

$$I_1 = I_m \sin \omega t; \quad I_2 = I_m \sin(\omega t - 120^\circ); \quad I_3 = I_m \sin(\omega t - 240^\circ)$$

тағйир меёбанд. Дар нокили сифрӣ, ки дар генератор умумист, қувваи ҷараён ба ҳосили ҷамъи қувваҳои ҷараёнҳои нокилҳои хаттӣ баробар аст:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = I_m \sin \omega t + I_m (\omega t - 120^\circ) + I_m \sin(\omega t - 240^\circ).$$

Аммо

$$\sin(\omega t - 120^\circ) + \sin(\omega t - 240^\circ) = 2 \sin(\omega t - 180^\circ) \cos 60^\circ = \sin(\omega t - 180^\circ) = -\sin \omega t$$

мебошад, аз ин рӯ,

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = 0$$

буданаш маълум мегардад. Пас, ҳангоми пайвасти симметрии борбастҳо қувваи ҷараён дар нокили умумӣ баробари сифр мебошад

ва номи нокили сифрӣ аз хамин чост. Аз ин рӯ дар пайвасти симметрии борбастҳо (хатто дар мавриди анкариб симметрии будан) нокили сифиро истисно кардан, яъне умуман партофтан мумкин аст, ки ба сарфаи маводи нокилоҳо боис мегардад.

Бояд қайд кард, ки васли ситораӣ як камбудии намоён дорад: агар яке аз симҳо, масалан сими 1 қанда шавад ё сӯзад, борбасти R_1 аз қор мебарояд, ҳарчанд ин ҳол ба амали борбастҳои дигар R_2 ва R_3 ҳалал намерасонад, дар онҳо чун пештара шиддаҳои фазавӣ амал мекунанд. Вале мавриди аз қор баромадан (масалан сӯхтан)-и нокили сифрӣ ҳар чуфти борбастҳои дигар, аз ҷумла R_1 ва R_2 пай дар пай гардида, ба шиддати $\sqrt{3}$ маротиба назар ба шиддати фазавӣ баландтар воқеъ мешаванд. Ин шиддат чун дар ҳар гуна пайвасти пай дар пай номунтазам, ба R_1 ва R_2 мутаносибан тақсим мегардад. Чунончӣ, агар муқовимати R_1 -ро якто ҷароғаки, масалан садваттӣ, муқовимати R_2 -ро нӯҳто параллелан пайвасти ҳамин гуна ҷароғақҳо ташкил намоёнд, он гоҳ ба шохаи R_2 даҳяки шиддати пурраву дар шохаи R_1 $9/10$ ҳиссаи он шиддат рост меояд ва дар ҳоли шиддати фазавӣ $220 В$ будан ҳарду шоха тахти шиддати $\sqrt{3} 220 = 380 В$ воқеъ мегарданду аз он $380 \cdot \frac{1}{10} = 38 В$ ба ҷароғақҳои R_2 ва $380 \cdot \frac{9}{10} = 342 В$ ба ҷароғаки R_1

меафтад. Дар натиҷа ин ҷароғақ месӯзаду ҷараён дар ҳар ду шоха қатъ меебад. Ҳамин аст, ки ба нокили сифрӣ муҳофизак (масалан муҳофизаки тезгудоз) васл намеkunанд, зеро расиши кӯтоҳи тасодуфӣ ин нокилро аз қор бароварда метавонад. Занҷирро бо муҳофизакҳои дар ду сими дигар васлбуда ҳимоя мекунанд.

Васли секунҷавӣ дар расми 4.21, б бо ҳамин гуна пайвасти борбастҳояш тасвир ёфтааст. Дар ин маврид ҳам ҷараён ба истеъмолгарон тавассути се сим нақл мешавад.

§4.11. Трансформаторҳо

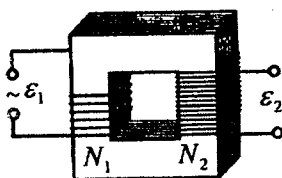
Электростансияҳои пуриктидорро, ки дар онҳо аз ҳисоби энергияҳои механикӣ, ҳароратӣ, атомӣ (дурустгараши ядрой), рӯшноӣ энергияи аз ҷиҳати экологӣ тозаву ба навъҳои дигар ба осонӣ табдилёбандаи электрии истеҳсол мешавад, на дар ҳама ҷо бунёд кардан имконпазир аст. Чунончӣ, гидроэлектростансияҳо дар мавзёҳои мусоиди дарёҳои қалон, электростансияҳои ҳароратӣ дар назди мавзёҳои аз сӯзишвории арзон бой сохта мешаванд. Ҳамин аст, ки эҳтиёҷи ба ҷойҳои дар масофаҳои аз электростансияҳо дур воқеъгардидаи истеъмолгарон интиқол додани энергияи электрии ба миён меояд.

Тавре ки зикр ёфт, иктидор дар ҳар як агрегати электростансияҳои муосир то ба садҳо мегаватт, шиддаташон бошад даҳҳо киловольт, аз ин рӯ қувваи ҷараёни истеҳсолшаванда то ҳазорҳо ампер мерасанд. Бо симҳои бевоҳита интиқол додани ин қадар ҷараён мувофиқи қонуни Ҷоулу Ленс (миқдори гармии дар симҳои интиқолӣ хориҷшаванда ба квадрати қувваи ҷараён мутаносиби роста мебошад) боиси талафоти зиёди энергия гардида метавонад. Ду усули назарногир кардани ин гуна талафоти энергия мавҷуд аст: 1)

истифодаи нокилҳои гафси металлӣ, ки миқдори зиёди металлҳои рангаро талаб менамоянд ва хеле серхарҷ мебошад; 2) ҳадалимкон кам қардани қувваи ҷараён дар симҳои интиқолист, ки бо ёрии дастгоҳҳои ба ном *трансформаторҳо* (аз латинии transformare-табдил додан) амалӣ гардонда мешавад.

Хотиррасон қардан бамаврид аст, ки назарияи амалии трансформаторҳо басо мушқил мебошад, зеро дар он ҳодисаҳои ҳудиндуксия ва индуксияи тарафайн омехта рӯй медиҳанд ва мо минбаъд бо муҳокимаи мавриди соддатарин маҳдуд мешавем.

Трансформаторҳо танҳо дар занҷирҳои ҷараёни тағйирёбанда мавриди татбиқ қарор меёбанд. Трансформатори соддатарин аз дилаки сарбастӣ беишғар оҳанин (баъзан ферромагнитӣ) ва ду ғалтаки шумораи печакҳошун гуногуни ба ин дилак шинондашуда иборат аст (расми 4.22). Ғалтаке, ки ба манбаии ҚЭХ-и табдилшаванда васл аст, *печакҳои аввала* шумораашон N_1) ва ғалтаки дигари табдилдиҳанда *печакҳои дуюмӣ* (шумораашон N_2) ном гирифтаанд.



Расми 4.22

Агар ба печакҳои аввала ҚЭХ-и тағйирёбандаи $\mathcal{E}_1$ васл карда шавад, аз онҳо ҷараёни қуввааш I_1 мегузарад, ки хатҳои майдони магнитиаш дар фазо паҳн нагардида, ба воситаи дилаки сарбаст ҳамчун расонаи магнитӣ (ба лафзи русӣ магнитоковод) печакҳои ҳарду ғалтакро мебуранд. Аз ин рӯ сели магнитиро дар ҳар як печак ҳарду ғалтак баробар ҳисобидан равоаст. Ҳамин аст, ки дар асоси қонуни асосии индуксияи электромагнитӣ (§4.1) ифодаҳои зеринро сабт карда метавонем:

$$\mathcal{E}_1 = -N_1 \frac{d\Phi}{dt}; \quad \mathcal{E}_2 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt} \quad (4.67)$$

Аз ин рӯ таносуби зерин ҷой дорад:

$$\frac{\mathcal{E}_1}{\mathcal{E}_2} = \frac{N_1}{N_2}. \quad (4.68)$$

Ин таносуб, ки барои қиматҳои лаҳзавии ҚЭХ -ҳо оварда шудааст, барои қиматҳои амплитудавию самарабахш низ рост меояд. Яъне ҚЭХ -ҳо дар ғалтакҳои трансформатор чун шумораи печакҳои ғалтакҳои он нисбат доранд.

Нисбати

$$\frac{N_1}{N_2} = k \quad (4.69)$$

коэффициенти трансформатсия ном гирифтааст. Агар $N_2 > N_1$ ($k < 1$) бошад, $\varepsilon_2 > \varepsilon_1$ ва аз ин рӯ шиддат дар печаҳои дуҷум баланд аст. Дар ин маврид *трансформатор баландшиддат*, дар акси ҳол ($N_2 < N_1$, $k > 1$) трансформатори *пастшиддат* номида мешавад.

Дар ҳоли назарногир будани талафоти энергия (дар печаҳои трансформатор ва дилаки он, ки асосан барои ҳосил гардидани ҷараёнҳои Фуко сарф мешавад) ККФ-и трансформаторҳои муосир то 95-97% мерасад) мувофиқи қонуни бақои энергия:

$$\varepsilon_1 I_1 t \approx \varepsilon_2 I_2 t$$

сабт кардан равог, аз ин рӯ баробарии зерин ҷой дорад:

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} = \frac{N_2}{N_1} = k \quad (4.70)$$

ки онро *муодилаи трансформатор* меноманд. Яъне, шумораи печаҳои дуҷумро зиёд гирифта, дар онҳо ба ҳосил шудани ҷараёнҳои қуввашон маротибҳо камбудаи I_2 ва шиддатҳои баланди аз 200 кВ то 500-1000 киловольт ноил гаштан мумкин аст. Трансформаторҳои баландшиддат дар шафати электростансияҳо шинондашударо маҳз ба ҳамин мақсад истифода мебаранд.

Хотиррасон кардан бамаврид аст, ки ҳангоми ба борбаст васл набудани занҷири ғалтаки дуҷум қувваи ҷараён дар он $I_2 = 0$ аст ва КЭХ-и худиндуксияи дар печаҳои яқум ангезондаи ба ε_1 баробар мувофиқи қоидаи Ленс ақсултаъсиррасонанда истеъмоли энергияро дар ин печаҳо ҳеле кам мекунад. Ин ҳодисаро *гаити бебунёди трансформатор* меноманд.

Дар ҷойҳои истеъмоли энергияи электрӣ (зерстансияҳои дар шафати корхонаҳо мавҷуда) баръакс, трансформаторҳои пастшиддат насб карда мешаванд, ки онҳо одатан шиддатҳои баланди интиқолиро бо якҷанд зина то 220 В/380 В паст мефуроранд.

Бояд қайд кард, ки трансформаторҳо дар соҳаҳои гуногуни техника, хусусан электро- ва радиотехника, инчунин асбобҳои рӯзгор васеъ истифода мешаванд. Масалан, дар кабинетҳои рентгении табобатхонаҳо то 40-50 кВ, вале дар транзисторҳои радио ва телевизион шиддатҳои якҷанд вольт лозиманд, ки истифодаи онҳо бидуни трансформаторҳо ғайриимкон мебошад.

Мисоли 4.9. Коэффициенти трансформатсияи пастшиддат $k = 10$ буда, он ба шабакаи шиддташ 220 В васл аст. Ҳангоми муқовимати печаҳои дуҷумӣ $r_2 = 0,2 \text{ Ом}$ ва муқовимати борбасти ғойидаовар $R_2 = 2 \text{ Ом}$ будан, шиддат дар баромадгоҳи печаҳои дуҷумӣ ёфта шавад.

Маълумот:

$$\begin{aligned} k &= \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = 10 \\ r_2 &= 0,2 \text{ Ом} \\ R_2 &= 0,2 \text{ Ом} \\ U_1 &= 220 \text{ В} \\ U_2 &= ? \end{aligned}$$

Ҳал

ҚЭХ дар печаҳои дуҷум мувофиқи
коэффитсиенти додашудаи
трансформатсия:

$$\varepsilon_2 = \frac{\varepsilon_1}{k} = \frac{220}{10} \text{ В} = 22 \text{ В}$$

Пас, шиддат дар баромадгоҳи печаҳои
дуҷум бояд:

$$U_2 = \varepsilon_2 - I_2 r_2$$

Бошад, ки дар ин ҷо I_2 қувваи ҷараён дар печаҳои дуҷуми аст ва онро
бо таъбиқи қонуни Ом барои занҷири сарбаст ёфта метавонем:

$$I_2 = \frac{\varepsilon_2}{R_2 + r_1} = \frac{22 \text{ В}}{2 \text{ Ом} + 0,2 \text{ Ом}} = 10 \text{ А.}$$

Аз ин рӯ

$$U_2 = \varepsilon_2 - I_2 r_2 = 22 \text{ В} - 10 \text{ А} \cdot 0,2 \text{ Ом} = 20 \text{ В.}$$

Ҷавоб: $U_2 = 20 \text{ В.}$

§4.12. Хосиятҳои магнитии моддаҳо

1. Диа-ва парамагнетикҳо

Тавре ки зикр ёфт, тадқиқоти аввалини майдони магнитии
муҳити атрофи ноқилҳои ҷараёнҳо (ба §3.4. ниг.) ба хосиятҳои
магнитии муҳити атрофи ноқилҳои ҷараёндор вобаста будани
индуксияи магнитиро ошкор карданд. Ин гуна вобастагӣ дар қонуни
Био-Савар-Лаплас расман бо дохил кардани коэффитсиенти
нуфузпазирии нисбии магнитии муҳит μ ба эътибор гирифта
мешавад. Акнун онд ба ин вобастагӣ муфасссалтар таваккуф
менамоём, зеро барои ҳосил кардани майдонҳои пурқуввати магнитӣ
(хусусан дар электромагнитҳо, дилаки трансформаторҳо) аҳамияти
қалбони амалӣ дорад.

Ҳаргуна моддаи дар майдони магнитӣ ҷойгиркарда ба қимати
индуксияи магнитӣ саҳме мегузорад. Масалан, агар дилаки оҳанинро
андаруни соленоиди ҷараёндор гузорем, индуксияи магнитӣ хеле
меафзояду ҳуди дилак ба магнити дойимӣ табдил меёбад, тавре ки
мегӯянд, магнитнок мешавад. Ин ҳодисаро маротиба нахуст А.М.
Ампер ошкор сохта буд. Баъдтар маълум гардид, ки ҳама моддаҳо ба
ин ё он дараҷа қобилияти магнитнокшавӣ зоҳир менамоёнд ва барои
тавсифи ин хосият маҳз бузургии:

$$\mu = B / B_0 \quad (4.71)$$

қабул шудааст; дар ин ифода B_0 -индуксияи магнитӣ дар вакуум, B -
ҳамин бузургӣ дар модда мебошад. Аз ин рӯ нуфузпазирии нисбии
магнитӣ μ нишон медиҳад, ки индуксияи магнитӣ дар муҳит назар
дар вакуум чанд маротиба тағйир меёбад. Ҳамин аст, ки ҳар гуна

моддаи дар майдони магнитӣ ҷойгиркардаро *магнетик* меноманд. Вобаста ба кимати μ кулли магнетикхоро ба се гурӯҳ: диамагнетикҳо, парамагнетикҳо ва ферромагнетикҳо ҷудо мекунам.

1) Диамагнетикҳо, ки барои онҳо $\mu \leq 1$ мебошад (аз ҷониби диа-аввал, якум, дар ин ҷо пешовандест, ки ба пароканиши хатҳои магнитии майдон ишорат мекунад). Ба диамагнетикҳо *Cu, Bi, Sb, Ag, Au, Pb, I, C, Hg, Si, Zn, S, H₂O, N₂, CO₂*, газҳои инерти ва аксари моддаҳои органикӣ мансубанд.

2) Парамагнетикҳо, ки барои онҳо, $\mu \geq 1$ мебошад. Натрий, калий, магний, калсий, алюминий, марганец, платина, оксиген (оксигени моеъ), махлули ҷанде аз намакҳо, масалан намаки хӯроки ва ғайра парамагнитанд. Ҷои асосӣ хотиррасон намоем, ки диа-ва парамагнетикҳо *моддаҳои сустмагнитӣ* ба ҳисоб мераванд.

3) Ферромагнетикҳо. (аз латинии ferrum-оҳан намоёндаи дар табиат хеле паҳнгардидаи ин гуна моддаҳо омадааст) моддаҳои, ки барояшон $\mu \gg 1$ мебошад. Ба ин гуна моддаҳо ғайр аз оҳан кобальт, никел ва бисёр ҳулаҳои онҳо тааллуқ доранд. Онҳо *моддаҳои зӯрмагнитӣ*анд.

Ҳосиятҳои магнитии кулли моддаҳо бо дарназардошти сохтори дохилии онҳо шарҳ меёбанд, зеро дар ҳар гуна ҷараёнҳои микроскопӣ (микроҷараёнҳо) мавҷуданд, ки бо ҳаракати зарраҳои таркибии атому молекулаҳо-электронҳо алоқаманданд. Аҷиб аст, ки ҳанӯз А.М. Ампер с. 1820 бо фарзияи дар моддаҳо ҷой доштани ҷараёнҳои ниҳонии электрии молекулавӣ назарияи аввалини магнетизмро пешниҳод карда буд.

Ҳоло барои шарҳ додани бисёр ҳодисаҳои магнитӣ бо истифодаи модели анқариб классикии сохти атом-аз ядроӣ мусбат заряднок, ки асосан массаи атомро дарбар мегирад ва дар атрофи электронҳои манфӣ зарядноки шумораашон ба рақами тартибии модда дар ҷадвали даврии элементҳо баробар гардишхӯранда иборатбуда маҳдуд мешавад. Маҳз электронҳои аз рӯи мадорҳои дойиравӣ ё эллипсӣ ҳаракатмандро чун микроҷараёнҳо қабул кардан раво аст, ки сабабгори магнитноқшавии моддаҳо доништа мешуд.

Электрон сонияе v маротиба (мувофиқи назарияи Бор $v = 10^{15} \text{ c}^{-1}$) аз рӯи мадори дойиравӣ гардишхӯрандаро ба сифати ҷараёни қуввааш:

$$I = \frac{e}{T} = ev$$

қабул кардан мумкин аст, ки моменти магнитии он бо формулаи:

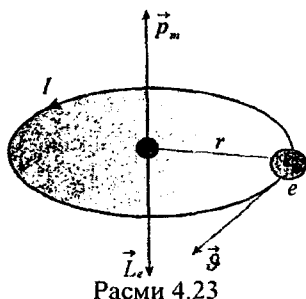
$$p_m = IS = evS \quad (4.72)$$

муайян карда мешавад (дар ин ҷо S - масоҳати мадор аст).

Агар электрон ба рафти ақрабаки соат гардиш хӯрад, ҷараён ба муқобили ин самт ва вектори $\vec{p}_m$ бошад ба ҳамвории мадор амудан (мувофиқи қоидаи дасти рост ё пармача) равона мебошад (расми 4.23). Азбаски электрон ғайр аз заряди e масса низ дорад, ба электрони гардишхӯранда моменти механикии:

$$L_e = m_e g r = 2m_e v \pi r^2 = 2m_e v S \quad (4.73)$$

хос мебошад (дар ин ҷо $g = \omega r = 2\pi v r$ - суръати мадории электрон аст). Вектори $\vec{L}_e$ ба самти вектори $\vec{p}_m$ муқобилан равона буданаши мувофиқи қоидаи пармача бармеояд.



Расми 4.23

Муқоисаи (4.72) ва (4.73) нишон медиҳад, ки моментҳои механикию магнитӣ ба якдигар мутаносибанд:

$$\vec{p}_e = -\frac{e}{2m_e} \vec{L}_e. \quad (4.74)$$

Дар ин ҷо бузургии

$$g = \frac{1}{2} \frac{e}{m} \quad (4.75)$$

нисбати *гироманитӣ* ном гирифтааст (аз юнонии *gyros*-давра).

Мавҷудияти ҳамбастагии моментҳои механикию магнитӣ боиси ҳодисаҳои ба истилоҳ *магнитомеханикӣ* мешавад. Чунончӣ, магнитнокшавии магнетик сабабгори ба ҳаракати ҷарҳзанӣ даромадани он мегардад. Ин ҳодиса дар таҷрибаҳои олими нидерландӣ де Хааз (1878-1960) ва А. Эйнштейн мушоҳида карда шуд (с. 1915). Ҳодисаи баръакс - хангоми ҷарҳзании магнетик магнитнок шудани моддаро олими амрикоӣ С.Ҷ. Барнетт (с. 1873-1956) дар таҷрибаи ошкор сохт (с. 1915).

Аҷоибот дар он аст, ки дар таҷрибаҳои де Хааз ва А. Эйнштейн нисбати *гироманитӣ* ба $-(e/m)$, яъне назар ба дар (4.75) овардашуда ду маротиба зиёд буданаши муқаррар гардид. Баъдтар маълум шуд, ки электрон ғайр аз momenti мадории L_e дорои *моменти механики хусусии* L_s -и ба ном *спин* (аз англисии *spin*-ҷарҳак, ҷарҳзанӣ) ва мутаносибан ба он *моменти хусусии магнитӣ* (спинӣ)-и p_{ms} мебошад ва маҳз нисбати онҳо:

$$p_{ms} = -\frac{e}{m_e} L_s \quad (4.76)$$

буда, ба натиҷаҳои таҷрибаи де Хааз ва А. Эйнштейн мувофиқат мекунад. Дуруст будани нисбати (4.76) дар назарияи муосир-механикаи квантӣ пурра тасдиқ гардид. Аз ин рӯ ба хосиятҳои магнитии моддаҳо на momenti магнитии мадорӣ, балки асосан momenti магнитии хусусӣ (спинӣ)-и электрон саҳмгузор мебошад.

Ҳамин аст, ки моменти умумии магнитии атом ба ҳосили ҷамъи вектории моментҳои магнитӣ (мадорӣ ва спинӣ)-и тамоми электронҳои атом баробар доништа мешавад:

$$\vec{P}_a = \sum \vec{P}_m + \sum \vec{P}_{ms}. \quad (4.77)$$

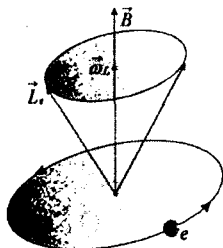
Лозим ба ёдоварист, ки моменти магнитии ядроҳо назар ба моменти магнитии электронҳо ҳазорҳо маротиба хурд аст (инро андозагирҳои муосир саҳеҳ тасдиқ карданд ва ин яке аз исботҳои дар ядро вучуд надоштани электронҳо доништа мешавад). Аз ин рӯ онро ҳангоми ҷамъи (4.77) сарфи назар кардан раво аст.

Маълум гардид, ки дар атомҳои моддаҳои диамагнитӣ $\vec{P}_a = 0$ мебошад. Агар электрони гардишхӯранда дар майдони магнитии берунаи индуксияаш $\vec{B}$ воқеъ гардад, ба он чун ҷараёни дойравӣ моменти гардишovar таъсир мекунад. Тавре ки олими англис Ч. Лармор (1857-1942) кашф кард (с. 1895), электрон дар ин маврид ғайр аз гардиши мунтазам ҳаракати мураккабе иҷро менамояд, ки *прессесия* (аз латинии *pression* пеш аз ҳодисае рӯй додан маънидод мешавад): моменти механикии мадории электрон дар атрофи вектори индуксияи майдони магнитии берунаи $\vec{B}$ аз рӯйи конусе бо суръати кунҷии:

$$\omega_L = \frac{1}{2} \left(\frac{e}{m_e} \right) \vec{B} \quad (4.78)$$

гардиш меҳӯрад (расми 4.24). Дар натиҷа ҷараёни индуксионие ангезонида мешавад, ки моменти магнитиаш мувофиқи қоидаи Ленс ба самти $\vec{B}$ муқобилан равона аст. Ин ҳодиса *эффекти диамагнитӣ* номида мешавад. Азбаски $\vec{P}_a$ дар атомҳои моддаҳои диамагнитӣ баробари сифр аст, дар ин гуна моддаҳо ин эффект саҳми асосӣ дорад. Гузашта аз ин, дар дигар моддаҳо низ эффекти диамагнитӣ вучуд дорад, вале назар ба таъсири пурзӯртар (масалан дар моддаҳои ферромагнитӣ) назарногир буданаш мумкин мебошад.

Дар моддаҳои парамагнитӣ (*Al, W, Pa, Pt*) $p_a \neq 0$ аст, вале бо сабаби ҳаракати бетартибонаи ҳароратии атомҳо дар ҳоли набудани майдони берунаи магнитӣ ингуна моддаҳо магнитнок нестанд. Ҳангоми ба майдони берунаи магнитӣ ворид кардани парамагнетикҳо атому молекулаҳои он бештар сӯйи майдон нигаронида мешаванд (аммо ба ин тартибот ҳамон ҳаракатаи ҳароратӣ ҳалал мерасонад. Дар ин ҳол эффекти диамагнитӣ назарногир шуда мемонад.



Расми 4.24

Фарқияти диамагнетикҳо назар ба парамагнетикҳо дар он зоҳир мегардад, ки масалан милаи диамагнитии дар майдони магнитии якҷинсаи беруна дар нӯги ресмон овезонбуда ба хатҳои магнитӣ амудан нигаронида мешавад. Дар майдони ғайриякҷинса бошад, ба намунаи диамагнитӣ қуввае таъсир менамояд, ки онро аз майдон дур меандозад. Намунаи парамагнитӣ дар майдони якҷинсаи магнитӣ ба рафти хатҳои магнитӣ ҷой мегирад. Дар майдони ғайриякҷинса ба намунаи парамагнитӣ қуввае таъсир мерасонад, ки онро ба маҳалҳои пурзӯри майдон равона кардани мешавад.

Ба монанди он, ки барои микдоран арзёбӣ кардани поляризатсияи диэлектрикҳо мафҳуми вектори поляризатсия ё худ қутбнокшавӣ ворид карда будем, барои тавсифи микдории таъсири майдони магнитии беруна ба магнетикҳо мафҳуми *вектори магнитнокшавӣ* $\vec{J}$ (мухтасар магнитнокшавӣ) - ро қорбаст мекунанд, ки он ба моменти магнитии воҳиди ҳаҷми магнетик баробар аст:

$$\vec{J} = \frac{\vec{P}_m}{V} = \frac{\sum \vec{P}_a}{V}. \quad (4.79)$$

Дар майдонҳои начандон пурзӯр магнитнокшавӣ ба шадидияти майдони беруна H амалан ҳагтӣ мутаносиб мебошад. Ҳамин аст, ки ба монанди пазируфти диэлектрӣ мафҳуми *пазируфти магнитӣ* χ - ро ворид мекунанд:

$$\vec{J} = \chi \vec{H}. \quad (4.80)$$

Дар ин ҷо χ бузургии бевоҳид, яъне адади ҳолис мебошад.

Индуксияи магнитӣ $\vec{B}$ дар магнетикҳо аз ду майдон-майдони беруна $\vec{B}_0 = \mu_0 \vec{H}$, ки аз ҷониби ҷараёни магнитнокгардонанда дар вакуум ва майдони дохилии муҳити магнитнокшаванда $\vec{B}'$ таркиб меёбад. Нишон додан мумкин аст, ки $\vec{B}' = \mu_0 \vec{j}$ ва аз ин рӯ:

$$\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}' = \mu_0 (\vec{H} + \vec{j}) = \mu_0 (1 + \chi) \vec{H} \quad (4.81)$$

мебошад. Пас,

$$\mu = 1 + \chi \quad (4.82)$$

буданаш маълум мегардад.

Назарияи диа-ва парамегнетикҳоро олими фаронсавӣ П. Ланжевен (1872-1946) бунёд карда буд (с. 1905). Мувофиқи ин назария пазируфти диамагнетикҳо:

$$\chi = -\frac{\mu_0 N_A e^2}{6m_e} < r^2 >, \quad (4.83)$$

ки дар он μ_0 -дойимии магнитӣ, N_A -адади Авогадро, e -заряди электрон, $< r^2 >$ -кимати миёнаи радиуси мадорҳои электронии атом мебошад. Агар ба эътибор гирем, ки $< r^2 > = 10^{-10} \text{ м}$ ва аз ин рӯ χ барои диамагнетикҳо хеле хурд (ҳамагӣ $10^{-6} \div 10^{-5}$) буданаш маълум мегардад.

Ба температура чаппа мутаносибии пазируфти парамагнетикҳоро, ки олими фаронсавӣ П. Кюри (1859-1906) ҳанӯз соли 1895 ба тарзи таҷрибавӣ муқаррар карда буд ва онро *қонуни Кюри* меноманд, П. Ланжевен назариявӣ шарҳ дод:

$$\chi = \frac{\mu_0 N_A P_m}{3kT}. \quad (4.84)$$

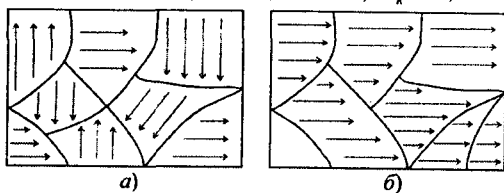
Дар ин чо p_m -моменти магнитии атом, k -дойимии Болсман, T -температураи термодинамикӣ мебошад.

2. Ферромагнетикҳо. Нуфузпазири зиёди ферромагнетикҳо ($\mu \gg 1$), чунончӣ барои оҳан вобаста ба дараҷаи тозагиашон аз 5 000 то 20 000, барои ҳӯлаи ба ном *супермаллой* (79% Ni, 5% Mo, 16% Fe) то 10^6 , ки *моддаҳои зӯрмагнитӣ* ба ҳисоб мераванд, бо дар сохторашон мавҷудияти соҳаҳои хеле хурд ($0,01-0,1$ мм)-и худ ба худ магнитнок шарҳ меёбад. Ин гуна соҳаҳо *доменҳо* (аз фаронсавии латиниасоси *domaine*-қаламрав, мулк) ном гирифтаанд. Доменҳоро бо ёрии микроскопҳо мушоҳида кардан имконпазир, аст. Барои ин сатҳи магнетики ҳамворро хуб суфта, ба рӯяш равшани бо хокаи гардгаштаи оҳансов омехта паҳн мекунанд. Зарраҳои оҳансов магнитнок шуда, аз рӯи доменҳо чун ақрабақҳои магнитии минииётурӣ саф мекашанд ва доменҳоро зоҳир менамоянд.

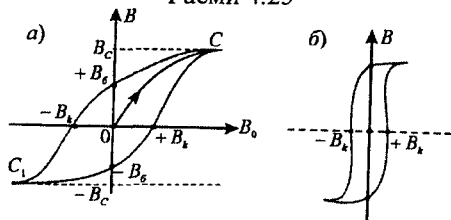
Азбаски нисбати гироманитии (4.75) мувофиқи натиҷаҳои таҷрибаҳои А. Эйнштейн ва де Хааз маҳз дар намунаҳои ферромагнетӣ ду маротиба зиёд аст, ба магнитнокшавии ферромагнетикҳо асосан моментҳои хусусӣ (спинӣ) - и электронҳо саҳмгузоранд. Бино ба ба назарияе, ки олими фаронсавӣ П.Э. Вейс (1865-1940) соли 1907, олимони шӯравӣ Я.И. Френкел (1894 - 1952) ва Н.С. Акулов (1900-1976), олими олмонӣ В.К. Хейзенберг (ба лафзи русӣ Гейзенберг) (1901-1976) онд ба сохти ферромагнетикҳо пешниҳод карданд (с. 1927-1928), моменти магнитии доменҳо дар натиҷаи ҳамтаъсири электронҳои қабатҳои гуногуни энергетикӣ ё зерсавияҳо (дар атомҳои ферромагнетикҳо баъзе зерсавияҳо то ҳади имконпазир бо электронҳо пур набуда, ҷойҳои холи доранду электронҳои онҳо ба зерсавияҳои дигари аз ҷиҳати энергетикӣ мусоидтари баландтар мегузаранд) параллелан равонаанд. Агар намунаи ферромагнитӣ қаблан дар майдони магнитӣ воқеъ нагардида бошад, моменти магнитии доменҳо тавре бетартибона ҷойгир мешаванд, ки намуна магнитнок нест, моменти натиҷавӣ баробари сифр аст (расми 4.25, а). Вале ҳангоми намунаро дар майдони магнитии берунаи индуксияаш $\vec{B}_0 = \mu_0 \vec{H}$ гузошта, таъсироташро тадриҷан афзоиш додан ферромагнетик аҷоиб рафтор мекунад. Ҳатто дар майдонҳои начандон пурзӯр (масалан шадидияташ $H \approx 100$ А/м) моментҳои магнитии доменҳо бештар сӯйи ин майдон нигаронида шудан мегиранд. Ҳамин аст, ки индуксияи магнитии намуна B вобаста ба B_0 чун дар расми 4.26, а тасвирёфта аввало ба рафти хати қачи $O-C$ то ба қимати сершавии магнитӣ (нуқтаи C) мерасад. Дар ин маврид моменти магнитии кулли доменҳо сӯйи майдони беруна B_0 равона мешаванд (расми 4.25, б) Акнун, агар B_0 -ро аз қимати ба сершавии магнити (BC) мувофиқ кам намоем, B на ба рафти $C-O$, балки ба рафти $C-B_0$ коҳиш меёбад. Қимати B_0 , ки ба индуксияи $B_0 = 0$ рост меояд, *магнитнокшавии боқимонда* (B_0) ном дорад (магнитҳои дойимӣ маҳз то ба ҳамин дараҷа магнитнок карда мешаванд). Барои барҳам додани магнитнокшавии боқимондаи B_0 самти индуксияи майдони беруна B_0 - ро муқобил гардонда, то

кимати $-B_k$, ки қувваи коэрситивӣ (аз латинии coercitio - нигоҳ, маҳфуз доштан) ном гифтааст, расондан лозим меояд. Дар натиҷа $B=0$ мешавад. Минбаъд зиёд кардани $-B_0$ ба аз нав магнитнок кардани намунаву ба кимати сершавии $-B_c$ (нуктаи C_1) расондан меорад. Акнун, агар B_0 - ро кам кардан гирем, боиси дар намунаи ферромагнитӣ ба вачуд овардани индуксияи боқимондаи $-B_6$ мешавем. Барои маҳв сохтани ин магнитнокшавии боқимонда ($-B_6$) индуксияи майдони беруна B_0 - ро то ба кимати $+B_k$ афзудан мебояд. Сипас онро аз нав то ба кимати сершавӣ (нуктаи C) расонда метавонем. Дар натиҷа хати сарбасти ба ном *ҳалқаи ҳистерезисӣ* (ба лафзи русӣ гистерезис, ки аз юнонии hysteresis - қафо мондан, таъхир кардан омадааст) ҳосил мешавад (расми 4.26, а)

Муқаррар карда шудааст, ки масоҳати ҳалқаки ҳистерезисӣ ба қори аз нав магнитнок гардонидани намунаи ферромагнитӣ баробар аст. Аз ин рӯ шакли ҳалқа яке аз таъсироти асосии моддаи ферромагнитӣ мебошад. Масалан, дар ферромагнетики ҳамчун дилаки электромагнитҳою трансформаторҳо қорбастишаванда ҳалқаи ҳистерезисӣ бояд ҷуноне бошад, ки дар расми 4.26, б тасвир ёфтааст. Яъне бо ёрии онҳо ҳарчӣ майдонҳои пуркуват дастрас мешаванду онҳоро ба зудӣ маҳв сохтани имконпазир мегардад, зеро бузургии қувваи коэрситивии барои ин гуна магнетик B_k чандон зиёд нест. Чунончӣ, барои оҳани тоза $B_k \approx 5$ мкТл, барои хӯлаи зикрефтаи супермаллоӣ B_k ҳамагӣ 0,5 мкТл мебошад. Ҳамин аст, ки ин навъ ферромагнетикро *парммагнит* меноманд. Дар моддаҳои саҳтмагнит, ки ҳалқаи ҳистерезисиашон дар расми 4.26, а тасвир ёфтаасту онҳо ҳамчун магнитҳои доимӣ истифода мешаванд, қувваи коэрситивиашон бузург мебошад. Чунончӣ, барои пӯлоди карбондор (таркибаш 0,9%С, 1%Мн, боқимонда оҳан) $B_k = 5$ мТл, хӯлаи ба ном платинокобалт (77%Pt, 23%Co) $B_k = 0,26$ Тл аст.



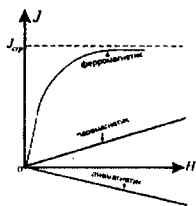
Расми 4.25



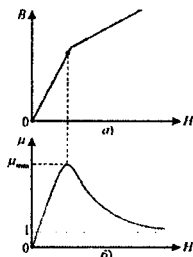
Расми 4.26

Умуман, бархилофи моддаҳои сустмагнитӣ, ки барои онҳо магнитнокшавӣ J вобаста ба шадидияти майдони магнитии беруна H ҳаттӣ тағйир меёбад, дар ферромагнетикҳо магнитнокшавӣ аввало бо тезӣ афзуда, сипас ба қимати сершавӣ мерасад (расми 4.27). Гузашта аз ин, нуфузпазирӣ μ ва индуксияи магнитии ферромагнетикҳо бар хилофи моддаҳои сустмагнитӣ, ки барояшон μ амалан дойимист, ба H вобастагии мураккаб доранд (расми 4.28. а,б).

Бояд қайд кард, ки ферромагнетикҳо хангоми магнитнокшавӣ дучори деформатсия мегарданд. Ин ҳодиса *магнитостриксия* (аз латинии *strictio* - таранг шудан) ном гирифтааст ва он дар техника барои ангезонидани ултрасадои пурзӯр истифода мешавад. Дар солҳои охир нимнокилҳои ферромагнитии ба истилоҳ *ферритҳо* аҳамияти махсус пайдо кардаанд, зеро онҳо дорои хосиятҳои баланди ферромагнитӣ ва пайваستا ба ин онҳо муқовимати хоси электрии калон буда, барои тайёр намудани магнитҳои дойимии пурқувват, антеннаҳои ферритӣ, чузҳои ҳофизаи зудамал дар техникаи ҳисоббарории электронӣ ва ҳамчун рӯйпӯши наворҳои видео ва магнитофонҳо васеъ татбиқ ёфтаанд.



Расми 4.27



Расми 4.28

Хотиррасон кардан бамаврид аст, ки температураҳои назар ба *нуқтаи Кюри* баландтар ферромагнетик ба парамагнетикӣ муқаррарӣ табдил меёбад. Масалан, нуқтаи Кюри барои кобальт 1150°C , оҳан 770°C , пермаллой ($22\%\text{Fe}$, $78\%\text{Ni}$) 360°C буданаҳ муқаррар карда шудааст.

Дар хотима ёдовар мешавем, ки барои бемагнит гардондани ягон маснуот, масалан соати дастии магнитнокшуда онро андаруни соленоиди ҷараёнаш тағйирёбанда ҷойгир намуда, бо оҳистагӣ аз соленоид баровардан лозим меояд.

Мисоли 4.10. Электрон дар атоми ҳидроген аз рӯи мадори радиусаш $r = 0,528 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ гардиш мекунад. Бо истифода аз ин маълумот: 1) моменти магнитии мадории электрон, 2) моменти механикии он, 3) нисбати гирпомагнитиро барои ин атом муайян намоед.

Маълумот:

$$\begin{array}{l} r = 0,528 \cdot 10^{-10} \text{ м} \\ p_{me} - ? \\ L_e - ? \\ g - ? \end{array}$$

Дар атоми хидроген кувваи кулонӣ ба электрон шитоби марказрав медиҳад, аз ин рӯ:

$$ma_n = F_{кул}; \quad \frac{m g^2}{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r^2}$$

Ҳал

мебошад (дар инҷо $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ ва $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$). Аз ин ҷо

$$g = \frac{e}{\sqrt{4\pi\epsilon_0 m_e r}}$$

Электрони гардишхӯрандари чун ҷараёне пиндоштан мумкин раво аст, ки қуввааш:

$$I = \frac{e}{T}$$

мебошад; ки дар ин ҷо T -даври гардиши электрон аст ва онро бо формулаи

$$T = \frac{2\pi r}{g}$$

муайян карда метавонем. Пас,

$$I = \frac{e g}{2\pi r}$$

аст. Аз ин рӯ моменти магнитии ҷараён

$$p_m = IS,$$

ки дар ин ҷо $S = \pi r^2$ -масоҳати мадори электрон мебошад. Пас, моменти магнитии матлуб:

$$\begin{aligned} p_m &= \frac{e g r}{2} = \frac{e^2}{4} \sqrt{\frac{r}{\pi\epsilon_0 m_e}} = \\ &= \frac{(1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл})^2}{4} \sqrt{\frac{0,528 \cdot 10^{-10} \text{ м}}{3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м} \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}}} = 9,25 \cdot 10^{-24} \text{ А/м}^2 \end{aligned}$$

буданаш маълум мегардад.

Моменти механикии мадории электронро бо формулаи зерин муайян мекунем:

$$L_e = m_e g r = \frac{e}{2} \sqrt{\frac{m_e r}{\pi\epsilon_0}} = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}}{2} \sqrt{\frac{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \cdot 0,528 \cdot 10^{-10} \text{ м}}{3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}}} = 1,05 \cdot 10^{-34} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}}$$

Аз ин рӯ нисбати гиромагнитӣ:

$$g = \frac{p_m}{L_e} = \frac{9,25 \cdot 10^{-24} \text{ А/м}^2}{1,05 \cdot 10^{-34} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}}} = 88,1 \cdot 10^9 \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$$

мебошад, ки бо қимати назариявии он:

$$g_{\text{нм}} = \frac{e}{2m_e} = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}}{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}} = 87,9 \cdot 10^9 \frac{\text{ Кл}}{\text{ кг}}$$

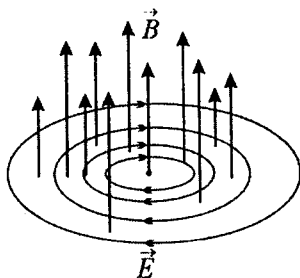
мувофиқ меояд.

Ҷавоб: 1) $p_m = 9,25 \cdot 10^{-24} \text{ А} \cdot \text{м}^2$; 2) $L_i = 1,05 \cdot 10^{-34} \text{ кг} \cdot \text{м}^2 / \text{с}$; 3) $g = 88,1 \cdot 10^9 \text{ Кл} / \text{кг}$.

§ 4.13. Муодилаҳои Максвелл

1. Майдони гирдобӣ (индуксионӣ)-и электрӣ. Муодилаи якуми Максвелл. Олими машҳури англис Ч.К. Максвелл (1831-1879) ходисаи индуксияи электромагнитиро таҳлил намуда, хулосаҳои муҳимтарине гирифт, ки минбаъд асоси назарияи майдони электромагнитиро ташкил доданд (с. 1860-1865). Ин назария ҳоло номи ўро гирифтааст.

Бино ба андешарониҳои Максвелл ҷараёни индуксионие, ки ҳангоми аз сатҳи контури нокилии беҳаракат тағйир ёфтани сели магнитӣ пайдо мешавад, натиҷаи равандҳои кимиёвӣ, ҳароратӣ, инчунин таъсири кувваҳои лоренсӣ нест. Зеро кувваҳои лоренсӣ кор иҷро намеkunанд (ба §3.6 ниг.). Ҷараёни индуксионӣ бо таъсири кувваҳои майдони электростатикӣ ба вучуд омада наметавонад, чунки кори кувваҳои майдони электростатикӣ ба рафти контури сарбаст, яъне сиркулятсияи вектори шадидияти ин майдон ҳар гоҳ баробари сифр аст (ба §1.7 ниг.). Ҳамин буд, ки Максвелл ғояи тамоман навро пешниҳод кард. Мувофиқи ин ғоя пайдоиши ҷараёни индуксионӣ бо майдони тағйирёбандаи магнитӣ алоқаманд мебошад. Майдони магнитии тағйирёбанда майдони электрiero тавлид менамояд, ки хатҳои шадидияташ чун хатҳои магнитӣ (бар ҳилофи хатҳои шадидияти майдони электростатикӣ, ки аз зарядҳои мусбат ибтидо гирифта, дар зарядҳои манфӣ тамом мешаванд ё ба беохирӣ мераванд) сарбастанд. Ҳамин аст, ки майдони электрии дар натиҷаи тағйирёбии майдони магнитӣ ба вучуд омадaro *майдони гирдобӣ* ё худ *индуксионӣ* меноманд. Маҳз бо таъсири ҳамин майдон зарраҳои озоди зарядноки контури сарбастии нокилӣ ба ҳаракат мебароянду ҷараёни индуксиониро ташкил медиҳанд. Аз ҳама аҷоибот дар он аст, ки майдони индуксионӣ бе ҳеҷ гуна нокил ҳам вучуд дошта метавонад (расми 4.29).



Расми 4.29

Нокиле, ки дар ин гуна майдон ҷойгир карда мешавад ва ҷараёни дар он тавлидбанда гӯё асбоб (ё худ як навъ индикатор)-и ошкорсозандаи мавҷудияти майдони индуксионӣ мебошад.

Бе нокил ҳам вучуд доштани майдони индуксионии электрӣ амали суръатфизои электронҳо, ки *бетатрон* ном гирифтааст, шарҳ медиҳад: ин дастгоҳ аз камераи дарунхолии ҳавояш то вакууми баланд кашидашуда дар байни кутбҳои электромагнити пурзӯри шаклаш махсус (конуси сарбурда) ҷойгирбуда иборат аст. Аз печаҳои электромагнит ҷараёни тағйирёбандаи басомадаш анқариб 100 Ҳс сар медиҳанд. Майдони магнитии дар натиҷа ҳосилшуда ҳамзамон ду вазифаро иҷро мекунад. Аввало дар фазои беҳаво майдони гирдбодии электриро тавлид менамояд, ки маҳз бо таъсироти он суръати электронҳои аз манбаии махсус ба ин фазо пошдошудашуда меафзояд. Сониян, майдони магнитӣ электронҳоро дар майдони дойиравии бо хатҳои шадидияти майдони гирдбодӣ мувофиқбуда нигоҳ медорад. Ҳамин аст, ки электронҳо аз рӯи мадори радиусаш дойимӣ дар тӯли афзоиши майдони магнитӣ ($\approx 10^{-3} \text{ с}$) миллионҳо маротиба гардиш хӯрда, дорои энергияи якчанд садҳо МэВ мегардад. Ҳангоми ин қадар энергия массаи электрон назар ба массаи оромишаш садҳо маротиба меафзояд ва суръаташ анқариб ба суръати рӯшноӣ дар вакуум баробар мешавад. Лекин ҳаракати электронҳо ба ҳеҷгуна синхронизатсия (ба §3.11 ниг.) эҳтиёҷ надорад. Гӯё дар бетатрон энергияи электронҳоро беҳад афзоиш додан мумкин аст. Вале электрони бошитоб дар ҳаракатбуда мавҷҳои электромагнитӣ меафканад, ки сабабгори талафоти энергияаш мешавад. Ҳамин аст, ки энергияашро ба садҳо МэВ мерасонанду бас.

Агар шадидияти майдони электрии индуксиониро бо $\vec{E}_B$ ишорат намоем, сиркулятсияи он ба рафти контури сарбаст КЭХ-и индуксиониро муайян мекунад (ба §1.7 ниг.):

$$\oint_L \vec{E}_B d\vec{l} = \varepsilon_i, \quad (4.85)$$

Акнун, агар ба назар гирем, ки мувофиқи қонуни асосии индуксияи электромагнитӣ (4.1):

$$\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt}$$

ва

$$\Phi = \int_S B dS \cos \alpha = \int_S B_n dS$$

(дар ин ҷо S -масоҳати контур) мебошанд, барои контури беҳаракат формулаи (4.85)-ро ба намуди:

$$\oint_L \vec{E}_B d\vec{l} = -\int_S \left(\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \right)_n dS \quad (4.86)$$

оварда метавонем, ки дар ин ҷо ҳосилаи хусусии $\left(\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}\right)_n$ -чун тағйироти индуксияи майдони магнитӣ бо мурури замон дар самти нормали сатҳи маънидод қарда мешавад.

Ҳамин тариқ, мувофиқи ғояи Максвелл майдони магнитии бо мурури замон тағйирёбанда майдони электрiero тавлид менамояд, ки шадидияташро бо формулаи (4.86) муайян қарда метавонем. Ифодаи (4.86) муодилаи якуми асосии назарияи электромагнитии Максвелл мебошад.

2. Ҷараёни кӯчишӣ. Симметрии будани қонунҳои табиатро ба эътибор гирифта, Максвелл фарзияи пешниҳод қард, ки дар байни майдонҳои электрии магнитӣ таносуби баръакс низ вучуд дорад. Яъне, ба мисли он, ки майдони тағйирёбандаи магнитӣ боиси тавлиди ёфтани майдони электрии мегардад, дар навбати худ майдони тағйирёбандаи электрии бояд майдони магнитиро ба вучуд оварад. Ин ғояи Максвелл минбаъд ба хусус самарабахш буданаш тасдиқ гардид.

Барои муқаррар қардани таносуби миқдории байни майдонҳои тағйирёбандаи электрии магнитӣ Максвелл мафҳуми *ҷараёни кӯчиширо*-ворид намуд*. Ӯ баъди таҳлили ҷараёни безарядшавӣ (ҳамчунин ҷараёни зарядноқардонӣ)-и конденсатори дар занҷири ҷараёни доимӣ васлбуда ба ин ҳулоса омад.

Агар рӯяҳои конденсатори заряднокро ба воситаи ноқилҳои металлӣ ва ҷароғаки тафсишии L васл созем (расми 4.30), ҳарчанд дар фазои байни рӯяҳо диэлектрик ё вакуум мавҷуд аст, яъне занҷир сарбаст нест, ҷараёни безарядшавӣ мегузарад, ки онро афрӯзиши кӯтоҳмуддати ҷароғак нишон медиҳад (ин ҷараён коҳишёбанда, яъне тағйирёбанда буданашро дар боби 5 нишон медиҳем). Ба ақидаи Максвелл занҷири ҷараёни дар ноқилҳои васлсозӣ суратгирандаро, ки ҳаракати зарраҳои озоди заряднок-электронҳо ташкил медиҳад, дар фазои байни рӯяҳо маҳз ҷараёни кӯчишӣ сарбаст менамояд. Ҷараёни кӯчишӣ бо *тағйироти майдони электрии* байни рӯяҳо хоҳ дар он ҷо диэлектрик воқеъ гардидаву хоҳ вакуум бошад, алоқаманд аст. Гузашта аз ин, зичии ҷараёни кӯчишӣ ба зичии ҷараёни ноқилият бояд баробар бошад. Дарвоқеъ, қувваи ин ҷараёнро чун:

$$I_H = \frac{dq}{dt} = \frac{d(\sigma S)}{dt} = \frac{d\sigma}{dt} S$$

муайян қарда метавонем, ки зичии он:

$$j_H = \frac{d\sigma}{dt} \quad (4.87)$$

мебошад (дар ин ҷо σ -зичии сатҳии зарядҳои рӯяҳои конденсатор аст

*) Агар сиркулясияи вектори шадидияти майдони электростатикӣ заряди q ба рафти контури сарбаст баробари сифр буданашро ба эътибор гирем, минбаъд аломати B -ро дар E_B партофта метавонем ва $\vec{E} = \vec{E}_q + \vec{E}_B$ доништа мешавад.

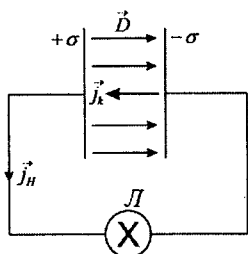
ва он ба модули вектори индуксияи электрӣ $\vec{D}$ баробар буданастро (ба §1.12 ниг.) хотиррасон мекунем ($\sigma = D = \epsilon\epsilon_0 E = \epsilon_0 E_0$)).

Ҳамин аст, ки зичии ҷараёни кӯчиширо бо формулаи:

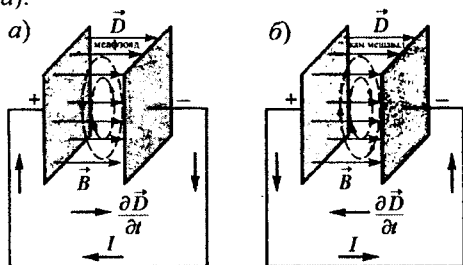
$$\vec{j}_k = \frac{d\vec{D}}{dt} \quad (4.88)$$

муайян карда метавонем. Азбаски вектори $\vec{D}$ ҳар гоҳ аз рӯи мусбат заряднок сӯи рӯи манфӣ заряднок самт мегирад, вектори зичии ҷараёни кӯчиш $\vec{j}_k$ мавриди безарядшавии конденсатор (расми 4.31,

б) ба $\vec{D}$ муқобилсамту дар ҳоли зарядноқшавии конденсатор бо он ҳамсамт мебошад (расми 4.31, а).



Расми 4.30



Расми 4.31

Мавҷудияти ҷараёни кӯчиш сабабгори дар атрофи он ба вуҷуд омадани майдони магнитии гирдбодӣ мешавад, ки хатҳояш (бо истифодаи қойидаи дасти рост ё пармача) дар расми 4.31, а, б тасвир ёфтаанд. Дар амал воқеъ гардидани майдони магнитии ҷараёни кӯчиширо олими амрикоӣ Х. Роуланд (1848-1901) соли 1876 ва олими рус А.А. Эйхенвалд (1864-1944) соли 1903 дар таҷрибаҳо тасдиқ карданд.

Пас, ба муносибати ворид кардани ҷараёни кӯчиш, бино ба андешарониҳои Максвелл дар ҳаргуна занҷири электрӣ бояд ҷараёни пурра чун ҳосили ҷамъи ҷараёнҳои ноқилиятию кӯчишӣ ҷой дошта бошад, ки баробарии зеринро сабт кардан равоаст:

$$\vec{j}_n = \vec{j}_{nH} + \vec{j}_{nk} \quad (4.89)$$

Ёдрас шудан бамаврид аст, ки ҷараёни кӯчишӣ андаруни ноқилҳои металлӣ низ вуҷуд дорад, вале мувофиқи ҳисобу китоби ҷиддӣ он назарногир мебошад.

Акнун қонуни ҷараёни пурраро (ба §3.12 ниг.) бо

*) Ин истилоҳи наҷандон мувофиқ бо он сабаб мавриди истифода қарор ёфт, ки дар замони Максвелл майдони электрӣ гӯё кӯчиши зарраҳои муҳити ҳаёлии эфир номдошта сабабгор доништа мешуд. Ҳарчанд минбаъд вучудияти ин гуна муҳит инкор гардид, бо амри таърих истилоҳи ҷараёни кӯчишӣ ва пайваста ба он эфир боқӣ монданд.

дарназардошти он, ки кувваи чараён бо формулаи:

$$I_n = \int_S (j_n)_n dS$$

муайян карда мешавад, ба намуи зерин оварда метавонем:

$$\oint_L \vec{H} d\vec{l} = \int_S (\vec{j}_n + \vec{j}_k) dS = \int_S \left(\vec{j}_n + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) dS \quad (4.90)$$

Дар ин ҷо $\left(\frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right)_n$ ҳосилаи хусусии вектори индуксияи электрӣ $\vec{D}$ буда, тағйироти он бо мурури замон маънидод карда мешавад.

Мавриди дар фазо мавҷудияти танҳо майдони тағйирёбандаи электрӣ формулаи (4.90) чунин пешниҳод мешавад:

$$\oint_L \vec{H} d\vec{l} = \oint_S \left(\frac{d\vec{D}}{dt} \right) dS. \quad (4.91)$$

Яъне, ҳаргуна майдони тағйирёбандаи электрӣ дар атрофи худ майдони магнетиеро тавлид менамояд, ки шадидияташ H мувофиқи формулаи (4.91) муайян карда мешавад. Ифодаи (4.91) муодилаи дуоми асосии назарияи электромагнитии *Максвелл* мебошад.

§4.14. Чамъбасти пурраи муодилаҳои Максвелл. Майдони электромагнитӣ

Барои чамъбасти пурраи муодилаҳои Максвелл ба ду муодилаи асосие, ки дар боло зикр ёфтаанд, чанд муодилаи дигарро илова кардан мебояд. Чунончӣ, теоремаи Гаусс барои вектори индуксияи электрӣ $\vec{D}$ (онро баъзан вектори кӯчиши электрӣ низ меноманд) муодилаи сеюми *Максвелл* дониста шудааст. Дар ҳоли андаруни сатҳи сарбаст бо зичии ҳаҷмӣ $\tau = dq/dV$ бефосила тақсим шудани заряд ин муодила чунин намуд дорад:

$$\oint_S \vec{D} d\vec{S} = \int_V \tau dV \quad (4.92)$$

Теоремаи Гаусс барои вектори индуксияи магнитӣ чун муодилаи чоруми *Максвелл* шуморида мешавад:

$$\oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0. \quad (4.93)$$

Ҳамин тарик, муодилаҳои зерин чамъбасти пурраи муодилаҳои *Максвелл*ро дар шакли интегралӣ, ташкил медиҳанд:

$$\left. \begin{aligned} \oint_L \vec{E} d\vec{l} &= - \int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}; \\ \oint_S \vec{D} d\vec{S} &= \int_V \tau dV; \\ \oint_L \vec{H} d\vec{l} &= \int_S \left(\vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) d\vec{S}; \\ \oint_S \vec{B} d\vec{S} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (4.94)$$

Одатан ба ин системаи муодилаҳои Максвелл таносуби бузургиро, ки ҳосиятҳои муҳитҳои дар онҳо майдонҳои электрику магнитии ангехташавандаро тавсиф медиҳанд, низ илова мекунам. Он таносубҳо инҳоянд:

$$\vec{D} = \epsilon \epsilon_0 \vec{E}; \quad \vec{B} = \mu \mu_0 \vec{H}; \quad \vec{j} = \gamma \vec{E}, \quad (4.95)$$

ки дар ин ҷо ϵ_0 ва μ_0 -мувофиқан доимииҳои электрику магнитӣ, ϵ ва μ -мувофиқан нуфузпазирии нисбии диэлектрику магнитӣ, γ -нокилӣҳои ҳосилшуда буданашро хотиррасон менамоем.

Аз системаи пурраи муодилаҳои Максвелл бармеояд, ки:

- зарядҳои электрӣ ё майдони бо мурури замон тағйирёбандаи магнитӣ манбаии майдони электрӣ мебошанд;
- майдони магнитиро зарраҳои заряднокӣ ҳаракатманд (ҷараёнҳои электрӣ) ё майдонҳои бо мурури замон тағйирёбандаи электрӣ ангехта метавонанд;
- майдони тағйирёбандаи магнитӣ ҳар гоҳ пайваستا бо майдони электрикӣ он ангезонида, майдони тағйирёбандаи электрӣ пайваستا бо майдони магнитии тавлидкарда вучуд доранд, яъне майдонҳои электрику магнитӣ ҷудонопазиранду *майдони ягонаи электромагнитиро ташкил медиҳанд*.

Муодилаҳои Максвелл муодилаҳои умумитарин барои майдонҳои электрику магнитӣ мебошанд ва онҳо дар илми оид ба электромагнетизм ҳамон нақшаеро мебозанд, ки қонунҳои Нютон дар механика доранд. Муодилаҳои Максвелл ҳам чун қонунҳои Нютон умумияти далелҳои таҷрибавӣ буда, исбот надоранд. Ба дурустии онҳо таҷрибаҳои сершумор ва натиҷаҳои аз онҳо гирифтаю дар амал татбиқшаванда ғувӯҳӣ медиҳанд.

Назарияи электромагнитии Максвелл на танҳо далелҳои таҷрибавӣ то бунёди он маълумро шарҳ дод, балки мавҷудияти мавҷҳои электромагнитиро, ки дар фазо бо суръати охирикунанда паҳн мешаванд, пешгӯӣ кард. Минбаъд муқаррар гардид, ки сураъти паҳншавии майдони электромагнитии озоди ба заряд ва ҷараёнҳо пайваست набуда дар вакуум ба суръати рӯшноӣ ($c = 3 \cdot 10^8$ м/с) баробар аст. Ин ҳулоса ва тадқиқоти назариявии ҳосиятҳои мавҷҳои электромагнитӣ ба Максвелл имконият доданд, ки *назарияи электромагнитии табиати рӯшноиро* пешниҳод намояд. Мувофиқи ин назария рӯшноӣ мавҷи электромагнитӣ мебошад.

Мавҷҳои электромагнитиро олими олмонӣ Х.Р. Херцс (ба лафзи русӣ Генрих Герцс) (1857-1894) дар таҷриба с. 1887, яъне баъди даҳ соли қавми Максвелл ҳосил ва муқаррар кард, ки қонунҳои ангезиш ва паҳншавии онҳо пурра мутобиқи назарияи Максвелл мебошанд.

Ёдрас шудан бамаврид аст, ки майдони электромагнитӣ ба принципи нисбияти Эйнштейн пурра мувофиқат мекунад, зеро мавҷҳои электромагнитӣ дар вакуум нисбат ба ҳамагуна системаҳои сарҳисоб бо ҳамон як суръати ба суръати рӯшноӣ баробар паҳн мешаванд ва аз ин рӯ ба принципи нисбияти Галилей мутобиқ нестанд.

Аз принципи нисбият бармеояд, ки алоҳида-алоҳида баррасӣ намудани майдонҳои электрику магнитиро бояд нисбатан фаҳмид. Дарвоқеъ, майдони электрӣ мачмӯии зарядҳои ором ба вучуд меоранд. Лекин, агар зарядҳо нисбат ба системаи сарҳисоби

инерсиалие ором бошанд, онҳо нисбат ба системаи дигари инерсиалӣ дар ҳаракат ба ҳисоб мераванд, яъне онҳо на танҳо майдони электрӣ, балки майдони магнитиро ҳам тавлид менамоянд (зеро заряди ҳаракатманд чараёни электриро ташкил медиҳад). Дар атрофи нокили ороми чараёнаш бетағйир майдони магнитии дойимӣ мавҷуд мебошад. Вале нисбат ба системаи дигари сарҳисоби инерсиалӣ он ноқил дар ҳаракат буда метавонад. Дар ин марвид майдони магнитии он тағйирёбанда мешаваду майдони электрӣ тавлид менамояд.

Ҳамин тариқ, агар майдон нисбат ба системаи сарҳисобе «соф» электрӣ ё «соф» магнитӣ бошад, нисбат ба системаҳои дигари сарҳисоб маҷмӯи майдонҳои электрию магнитӣ аст.

Машқи 4.

4.1. Милаи дарозияш $l = 30$ см дар майдони якҷинсаи магнитии индуксияш $B = 0,1$ Тл ба хатҳои магнитӣ амудан дар атрофи меҳваре, ки ба хатҳои магнитӣ параллелу аз яке нӯғҳои мила мегузарад, бо басомади $n = 3600$ гард/дақ чарх мезанад. Дар нӯғҳои мила чӣ қадар фарқи потенциалҳо анgezонида мешавад?

$$(U = |\mathcal{E}_i| = \pi n B l^2 = 1,7 \text{ В})$$

4.2. Контури масоҳаташ $S = 30$ см², ки $N = 100$ печа дорад, мунтазам дар майдони магнитии якҷинсаи индуксияш $B = 10$ мТл дар атрофи меҳваре, ки бо хатҳои магнитӣ мувофиқ меояд, чарх мезанад. Агар даври гардиш $T = 0,1$ с бошад, қимати амплитудавии ҚЭХ - и дар контур анgezхта муайян карда шавад.

$$(\mathcal{E}_m = NBS2\pi/T = 2,5 \text{ В})$$

4.3. Дар майдони магнитии мувофиқи қонуни $B = 0,1 \cos 2\pi$ тағйирёбанда рамкаи нокилии квадратшакли тарафаш $l = 50$ см тавре гузошта шудааст, ки хатҳои магнитӣ сатҳи рамкаро амудан бурида мегузаранд. ҚЭХ-и индуксияро дар лаҳзаи $t = (1/4)$ с муайян намоед.

$$(\mathcal{E} = 2\pi B_0 l^2 \sin 2\pi = 157 \text{ мВ})$$

4.4. Ҳалкаи аз нокили алюминии диаметраш $D = 50$ см сохташуда ба хатҳои магнитӣ амудан ҷойгир аст. Агар диаметри ноқил $d = 50$ мм бошад дар он чараёни индуксионии қуввааш $I = 2$ А анgezонида шавад, суръати тағйироти индуксияи магнитиро ёбед. Муковимати хоси алюминий $\rho = 2,8 \cdot 10^{-8}$ Ом·м буданаширо ба эътибор гиред.

$$\left(\frac{dB}{dt} = \frac{16I\rho}{\pi D d^2} \approx 0,15 \text{ Тл/с} \right)$$

4.5. Дар майдони якҷинсаи магнитии индуксияш $B = 0,5$ мТл рамкаи чоркунҷаи як тарафаш ҳаракатманди дарозияш $l = 20$ см ба хатҳои магнитӣ амудан ҷойгир аст. Агар тарафи ҳаракатманд хатҳои магнитиро бо суръати $\mathcal{V} = 5$ м/с бурида гузарад, дар рамка чӣ қадар

ҚЭХ ангезонида мешавад?

$$(|\varepsilon_i| = B/\vartheta = 0,5 \text{ В})$$

4.6. Дар галтаки дарозиаш $l = 50 \text{ см}$, диаметраш $D = 5 \text{ см}$ ва шумораи печаҳояш $N = 2400$ чараён бо суръати $\Delta I / \Delta t = 0,5 \text{ А/с}$ мунтазам меафзояд. Бузургии ҚЭХ - и худиндуксия чӣ қадар аст?

$$\left(\varepsilon_s = \mu_0 \frac{N^2 \pi D^2}{4l} \left| \frac{dI}{dt} \right| \approx 14 \text{ мВ} \right)$$

4.7. Аз галтаки дарозиаш $l = 20 \text{ см}$, диаметраш $D = 3 \text{ см}$, шумораи печаҳояш $N = 400$ чараёни қуввааш $I = 2 \text{ А}$ мегузарад. Индуктивияти галтак L ва сели магнитӣ аз сатҳи ҳар як печа муайян карда шавад.

$$(L = 0,71 \text{ мХн}, \Phi_1 = 3,55 \text{ мкВб})$$

4.8. Аз соленоиди шумораи печаҳояш $N = 2400$ чараёни қуввааш $I = 5 \text{ А}$ мегузарад. Агар энергияи майдони магнитии соленоид $W = 1 \text{ Ҷ}$, бошад, сели магнитӣ дар соленоид чӣ қадар аст?

$$(\Phi_1 = 0,4 \text{ Вб})$$

4.9. Дар маркази печаи дойиравии радиусаш $r = 8 \text{ см}$ мавриди аз печа гузаштани чараёни қуввааш $I = 30 \text{ А}$ зичии энергияи майдони магнитиро ёбед.

$$(0,022 \text{ Ҷ/м}^3)$$

4.10. Индуктивияти соленоиди дарозиаш $l = 60 \text{ см}$ ва масоҳати арзиаш $S = 4 \text{ см}^2$ ба $L = 0,4 \text{ мХн}$ баробар аст. Ҳангоми чӣ қадар қувваи чараён зичии ҳаҷмии энергияи майдони магнитӣ $W_v = 2 \cdot 10^{-3} \text{ Ҷ/м}^3$ мешавад?

$$(1,55 \text{ А})$$

4.11. Электромагнити муковиматаш $R = 15 \text{ Ом}$ ва индуктивияташ $L = 0,3 \text{ Хн}$ тахти шиддати дойимӣ мебошад. Тӯли чанд вақт дар печаҳои электромагнит миқдори гармии хоричгардида ба энергияи майдони магнитӣ баробар мешавад?

$$(t = L/2R = 0,01 \text{ с})$$

4.12. Ротори генератори чараёни тағйирёбандаи басомадаш саноатӣ ($\nu = 50 \text{ Ҳс}$) дар майдони магнитии якҷинсаи индуксияаш $\hat{A} = 0,15 \text{ Тл}$ чарх мезанад. Агар масоҳати ҳар як печа $S = 200 \text{ см}^2$ бошад, барои ҳосил кардани қимати амплитудавии ҚЭХ $\varepsilon_m = 310 \text{ В}$ чанд печа бояд гирифт?

$$(329)$$

4.13. Ротори шумораи печаҳояш $N = 150$, масоҳати ҳар як печаш $S = 500 \text{ см}^2$ дар майдони магнитии якҷинсаи индуксияаш $\hat{A} = 0,5 \text{ Тл}$ бо кадом басомад бояд гардиш намояд, ки қимати

самарабахши шиддат $U = 220 \text{ В}$ шавад.

4.14. Қимати лаҳзавии ҚЭХ дар генератори индуксионӣ мувофиқи қонуни $\varepsilon = 100 \sin 200\pi$ тағйир меёбад. Қимати амплитудавии ҚЭХ, басомад ва даври тағйироти ҚЭХ муайян карда шавад.

$$(\varepsilon_m = 100 \text{ В}; \nu = 100 \text{ Хс}; T = 0,01 \text{ с})$$

4.15. Теъдоди симпечи якуми трансформатор $N_1 = 2400$ мебошад. Барои дар шиддати $U = 9 \text{ В}$ ба занҷири беруна накл кардани иктидори $P = 54 \text{ Вт}$ теъдоди печаҳои дуҷуми трансформатор чӣ қадар бояд бошад? Муқовимати симпечи дуҷум $R = 0,5 \text{ Ом}$, шиддати шабака $U_1 = 220 \text{ В}$.

4.16. Трансформатори коэффитсиенти трансформатсияш $k = 0,15$ шиддатро аз $U_1 = \varepsilon_1 = 220 \text{ В}$ то $U_2 = 6 \text{ В}$ паст мекунад. Агар қувваи ҷараён дар печаҳои дуҷум $I = 6 \text{ А}$ бошад, талафи энергияро дар печаҳои якум сарфи назар карда, муқовимати печаҳои дуҷумро ёбед.

$$(R_2 = (\varepsilon_1 - U_2) / I_2 = 4,5 \text{ Ом})$$

4.17. Индуктивияти ғалтакеро ёбед, ки ба дилаки силиндршакли чӯбини дарозияш $l = 12 \text{ см}$, диаметраш $D = 10 \text{ см}$ ба қадри $N = 10$ қабат сими диаметраш $d = 2 \text{ мм}$ ҷафс карда печонида шудааст.

$$(L = N\mu_0 \frac{\pi D^2}{4d^2} l = 3 \text{ мХи})$$

4.18. Дар ғалтаки индуктивияташ $L = 0,5 \text{ мХи}$ тӯли вақти $\Delta t = 0,5 \text{ с}$ қувваи ҷараёнаш аз $I_1 = 30 \text{ А}$ то $I_2 = 0 \text{ А}$ кам мешавад. ҚЭХ-и худиндуксияи дар ғалтак ангезонидаро ёбед.

$$(30 \text{ мВ})$$

4.19. Аз ғалтаки дарозияш $l = 15 \text{ см}$, диаметраш $D = 2 \text{ см}$, ки ба он нокили диаметраш $d = 2 \text{ мм}$ ҷафс карда печонида шудааст, ҷараёни қуввааш $I = 10 \text{ А}$ сар доданд. Энергияи майдони магнитии дар ғалтак ба вучудомадаро муайян намоед.

$$(1,48 \text{ мҶ})$$

4.20. Конденсатори ғунҷоишаш $C = 0,5 \text{ мкФ}$ ва реостати ба он пай дар пай васлбудаи муқовиматаш $R = 3 \text{ кОм}$ ба шабакаи шахрии шиддаташ $U = 220 \text{ В}$ (басомадаш $\nu = 50 \text{ Хс}$) пайваст мебошад. Қувваи ҷараён дар ин қитъаи занҷир ёфта шавад.

$$(I = U / \sqrt{R^2 + 1 / (4\pi^2 \nu^2 C^2)} \approx 30 \text{ мА})$$

4.21. Ба манбайи ҷараёне, ки мувофиқи қонуни $I = 2\sin 100\pi$ тағйир меёбад, ғалтаки индуктивияташ $L = 90 \text{ мҲи}$ ва реостати муқовиматаш $R = 50 \text{ Ом}$ пай дар пай васл мебошанд. Қимати амплитудавии афтиши шиддат дар ин қитъаи занҷир чӣ қадар аст?

$$(U_m = I_m \sqrt{R^2 + (L\omega)^2} \approx 115 \text{ В})$$

4.22. Муқовимати пурраи қитъаи занҷири ҷараёни тағйирёбандаи басомадаш $\nu = 50 \text{ Ҳс}$, ки аз резистори муқовиматаш $R = 2 \text{ кОм}$ ва конденсатори ба он параллелан васлбудаи ғунҷонишаш $C = 6 \text{ мкФ}$ таркиб ёфтааст, муайян намоед.

$$(Z = R / \sqrt{1 + 4\pi^2 \nu^2 R^2 C^2} = 512,8 \text{ Ом})$$

4.23. Занҷири ҷараёни тағйирёбанда аз ғалтаки индуктивӣ, конденсатор ва резистори пай дар пай васлбуда таркиб ёфтааст. Қимати амплитудавии натиҷавии шиддат дар ғалтак ва конденсатор $U_{mLC} = 180 \text{ В}$, дар резистор $U_{mR} = 100 \text{ В}$ мебошад. Фарқи фазаҳои қувваи ҷараён ва шиддатро муайян намоед.

$$(\operatorname{tg} \varphi = (\omega L - 1/(\omega C)) / R = U_{mLC} / U_{mR} = 1,8; \operatorname{tg} \varphi = 61^\circ)$$

4.24. Дар бетатрон суръати миёнаи тағйироти сели магнитӣ $\left| \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right| = 50 \text{ Вб/с}$ - ро ташкил медиҳад. Баъд аз чанд гардиш электрон дорон энергияи зиёдтарини $W_{\max} = 80 \text{ МэВ}$ мешавад ва дар тӯли суръатгирӣ электрон дар бетатрон чӣ қадар роҳ мепаёмояд? Ба эътибор гиред, ки электрон аз рӯйи мадори дойравии радиусаш $r = 20 \text{ см}$ гардиш мекунад.

$$(N = \frac{W_{\max}}{e\epsilon_i} = W_{\max} / e \left| \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right| = 1,6 \cdot 10^6; S = N 2\pi r = 2 \cdot 10^6 \text{ м} = 2000 \text{ км})$$

4.25. Ба шабакаи ҷараёни тағйирёбандаи шиддати самарабахшаш $U = 120 \text{ В}$ ноқили муқовимати фаъолаш $R = 25 \text{ Ом}$ ва ғалтаки индуктивияташ $L = 0,183 \text{ Ҳи}$ пай дар пай васланд. Агар қимати амплитудавии қувваи ҷараён дар занҷир $I_m = 5 \text{ А}$ бошад, басомади ҷараёнро муайян намоед.

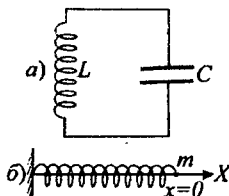
$$(\nu = \sqrt{(2U^2 / I_m) - R^2} / (2\pi L) = 20 \text{ Ҳс})$$

ЛАППИШ ВА МАВҶҶОИ ЭЛЕКТРОМАГНИТӢ

§5.1. Лаппишҳои озои бардавоми электромагнитӣ

Тавре ки аз муодилаҳои Максвелл бармеояд, майдонҳои тағйирёбандаи электрию магнитӣ якдигарро тавлид менамоянд. Ин гуна майдонҳоро бо ёрии схеми электрие ба вучуд меоранд, ки контури лаппиш ном гирифтааст.

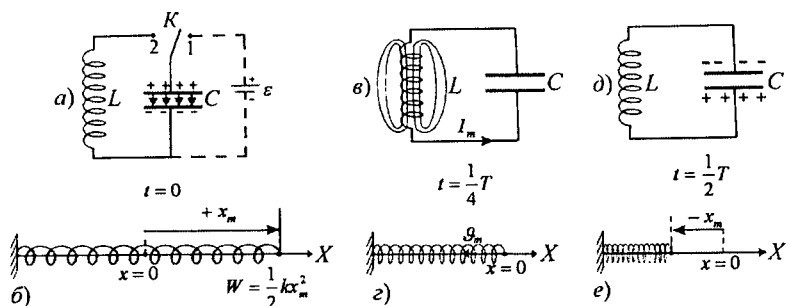
Контури лаппиш аз конденсатори C ва ғалтаки индуктиви L -и пай дар пай васлбуда таркиб ёфта (расми 5.1, а), дар он чун лаппишҳои механикӣ дар раққосаки пружинӣ (расми 5.1, б) лаппишҳои гармоникӣ ангезонида мешаванд.



Расми 5.1.

Равандҳое, ки дар контури лаппиш ҳангоми конденсаторро заряднок карда, тавассути ғалтак безарядгардонӣ рӯй медиҳанд, баррасӣ менамоям. Барои ба ин равандҳо амиқтар сарфаҳм рафтан лаппишҳое, ки дар раққосаки пружинӣ ба вучуд меоянд, тариқи муқоиса муҳокима кардан хеле мусоид аст.

Аввало конденсатори контурро аз манбаии берунаи ҷараёни дойимии ε заряднок мекунем. Барои ин калиди K -ро ба мавқеи 1 (расми 5.2, а) гардондан мебояд (ба мисли он, ки раққосакро бо таъсироти қувваи беруна, масалан даст ба масофаи x_m аз мавқеи мувозинатӣ майл додан лозим аст, расми 5.2, б). Дар ин ҳол конденсатори контур то шиддати U_m -и, ба ҚЭҶ-и манбаии ҷараён ε баробар заряднок гардида, дар рӯяхояш миқдори заряди ба ғунҷоишаш мувофиқ q_m -ро ғун мекунад ва дар натиҷа дар байни рӯяхо майдони электрӣ ба вучуд меояд, ки дар он энергияи потенциалии зиёдтарини $W_p = \frac{q_m^2}{2C}$ захира мешавад (чун раққосаки ба кадри $+x_m$ аз мавқеи мувозинатӣ майлхӯрда, ки дорои энергияи потенциалии $W_p = \frac{1}{2}kx_m^2$ мебошад).



Расми 5.2

Баробари калиди K -ро ба мавқеи 2 гардондан (ба раҳо додани раққосак рост меояд) ҳисоби вақтро оғоз менамоем (лаҳзаи $t=0$). Электронҳои озоди дар рӯи поёнии конденсатор ғуншуда бо таъсири майдони электрӣ (дар раққосак қувваи чандирии $F_r = -kx_m$ -и сӯи мавқеи мувозанатӣ раванбуда ин нақшо мебошад) аз печаҳои ғалтак мегузаранду ҷараёни безарядшавиро ташкил медиҳанд ва дар он майдони магнитиро ангезонида, ҷойҳои холии рӯи болоии конденсаторро пур кардан мегиранд. Дар ин маврид якбора ҳам майдони электрии суз ва ҳам майдони магнитии тадричан пурзӯршаванда вучуд дорад (мувофиқи он, ки раққосаки ба қадри $x < x_m$ аз мавқеи мувозанатӣ дурбуда ҳамзамон дорои энергия кинетикии $W_k = \frac{1}{2} m \dot{x}^2$ ва энергияи потенциалии $W_p = \frac{1}{2} kx^2$ мебошад).

Баъди аз ибтидо гузаштани тӯли вақти чоряк давр ($t = \frac{1}{4} T$) конденсатор пурра безаряд мегардаду ҷараёни безарядшавӣ кимати зиёдтарини I_m мегирад. Дар ин лаҳза майдони электрӣ барҳам меҳӯрад (расми 5.2, в), вале энергияи майдони магнитӣ дорои кимати максималии $W_m = \frac{1}{2} L I_m^2$ мешавад (раққосак аз мавқеи мувозанатӣ бо суръати $\dot{x}_m$ ба самти чап мегузараду дорои энергияи кинетикии зиёдтарини $W_k = \frac{1}{2} m \dot{x}_m^2$ мегардад (расми 5.2, з). Баробари сурат гирифтани ҷараёни безарядшавӣ ҳодисаи худиндуксия сар мезанаду ҚЭХ-и он $\mathcal{E}_s$ ба афзоиши ин ҷараён мувофиқи қоидаи Ленс маъмурият меҳасолад (мисли он, ки баъди аз мавқеи мувозанатӣ гузаштани раққосак пружина фишурда шудан мегирад қувваи чандирии сӯи мавқеи мувозанатӣ раванбуда ба вучуд омада, ба ҳаракати минбаъдаи раққосак муқобилият нишон медиҳад). Баъди сипарӣ шудани боз як чоряки дигари давр, яъне дар лаҳзаи $t = \frac{1}{2} T$ электронҳо бо инерсия қӯчишашонро идома дода, конденсаторро аз нав заряднок мекунанд, ҳарчанд акнун рӯи болоӣ дорои заряди манфӣю рӯи поёӣ дорои заряди мусбат мешаванд (расми 5.2, д). Дар

ин раванд ҚЭХ-и худиндуксия нақши асосӣ мебозад (ракқосак баъди мавкейи мувозанатино гузаштан ба кадри $-x_m$ фишурда мешавад (расми 5.2, е). Яъне энергияи майдони магнитӣ ба энергияи майдони электрӣ табдил меёбад. Сипас, раванде, ки дар тӯли ним давр то ин дам сурат гирифт, ба самти муқобил тақрор ёфта, баъди гузаштани ним даври дигар ба ҳолати ибтидоӣ бармегардад: конденсатор боз заряднок (руяи болоӣ мусбат руяӣ поёӣ манфӣ) мешавад.

Ҳамин тариқ, майдонҳои электрию магнитӣ даврӣ ба ҳам табдил меёбанд. Агар талафи энергияи захиракардаи конденсатор ба гармии ҷоулу ленси дар муқовимати печаҳои ғалтак намебуд (дар раққосак қувваҳои соиш вучуд намедоштанд) ин раванд беохир тақрор меёфт. Ҳодисаи зикршуда *лаппишҳои озоди бардавом (хомӯшинашаванда)* ном гирифтааст. Бояд қайд кард, ки дар контур лаппишҳои даврии заряди руяҳои конденсатор ва шиддати байни ин руяҳо, қувваи ҷараёни безарядшавӣ, энергияи майдонҳои электрию магнитӣ рӯй медаханд. Ҳамин аст, ки лаппишҳои дар контур суратгиранда *лаппишҳои электромагнитӣ* ном гирифтаанд.

Барои муайян кардани басомад ва даври лаппишҳои озоди бардавом муқовимати ғазол (омӣ)-и печаҳои ғалтакро ба эътибор намегирем ($R=0$). Дар ин маврид қойидаи дуҷуми Кирхгоф барои қиматҳои лаҳзавии афғиши шиддат дар конденсатор ва ҚЭХ-и худиндуксия чунин сабт карда мешавад:

$$U_C = \varepsilon_s \quad (5.1)$$

Акнун ба назар мегирем, ки

$$U_C = \frac{1}{C} q; \quad \varepsilon_s = -L \frac{dI}{dt}; \quad I = \frac{dq}{dt} = \dot{q}; \quad \frac{dI}{dt} = \frac{d^2 q}{dt^2} = \ddot{q}$$

(ҳосилаи дуҷуми заряд нисбат ба вақт) мебошанд, аз ин рӯ (5.1) намуди зерин мегирад:

$$L \frac{d^2 q}{dt^2} + \frac{1}{C} q = 0.$$

Ин муодиларо чун:

$$\ddot{q} + \frac{1}{LC} q = 0 \quad (5.2)$$

пешниҳод ва бо муодилаи лаппишҳои озоди бардавоми раққосак, ки дар механика баррасӣ шуда буд:

$$\ddot{x} + \omega_0^2 x = 0 \quad (5.3)$$

муқоиса карда, басомади сиклӣ (даврӣ)-и ин гуна лаппишҳо:

$$\omega_0^2 = \frac{1}{LC} \quad \text{ё} \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (5.4)$$

ва даври онҳо

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{LC} \quad (5.5)$$

буданаширо муайян менамоем. Барои санҷидани дурустии формулаи (5.5), ки онро с. 1853 олими машҳури англис У. Томсон-лорд Келвин (1824-1907) муқаррар карда буд ва ҳоло *формулаи Томсон* ном гирифтааст, аз воҳидҳо истифода мебарем:

$$\text{СИ: } \omega_0 T = (\omega_0 L \omega_0 C)^{1/2} = (1 \text{ } \chi_{\text{H}} \cdot 1 \text{ } \Phi)^{1/2}$$

$$= \sqrt{1 \frac{B \cdot c}{A} \cdot 1 \frac{K\lambda}{B}} = \sqrt{1 \frac{B \cdot c}{A} \cdot 1 \frac{A \cdot c}{B}} = 1 \text{ c}.$$

Ҳамин тариқ, басомад ва даври лаппишҳои озод ё хусусии бардавоми электромагнитӣ дар контур ба бузургии индуктивияти ғалтак L ва ғунҷоиши конденсатор C вобаста буданаши маълум мегардад. Ифодаи (5.2) чун муодилаи лаппишҳои озод (хусусӣ)-и электромагнитӣ доништа мешавад.

Ҳалли муодилаи (5.2) функсияи гармоникӣ:

$$q = q_m \sin(\omega_0 t + \varphi_0) \quad (5.6)$$

буданаширо хотиррасон менамоем. Барои санҷиш аз ин функсия ҳосилаи тартиби дуюм нисбат ба вақт гирифтаи коэффит:

$$I = \frac{dq}{dt} = q_m \omega_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0) = I_m \sin\left(\omega_0 t + \varphi_0 + \frac{\pi}{2}\right) \quad (5.7)$$

ва

$$\frac{d^2 q}{dt^2} = \frac{dI}{dt} = -q_m \omega_0^2 \sin(\omega_0 t + \varphi_0) = q_m \omega_0^2 \sin(\omega_0 t + \varphi_0 + \pi). \quad (5.8)$$

Аз муқоисаи (5.6) ва (5.7) бармеояд, ки фазаи лаппишҳои ҷараён назар ба лаппишҳои заряд дар рӯяхи конденсатор ба қадри $\pi/2$ пештар рӯй медиҳад. Ба ин муносибат лаппишҳои шиддати байни рӯяхи конденсаторро низ меоварем:

$$U = \frac{1}{C} q = \frac{1}{C} q_m \sin(\omega_0 t + \varphi_0) = U_m \sin(\omega_0 t + \varphi_0). \quad (5.9)$$

Мисоли 5.1. Даври лаппишҳои озои электромагнитии ҳомӯшнашавандаро дар контуре муайян намоед, ки аз ғалтаки индуктивии $L = 1 \text{ мХн}$ ва конденсатори ғунҷоишаш $C = 0,1 \text{ мкФ}$ таркиб ёфтааст:

Маълумот:

$$L = 1 \text{ мХн} = 10^{-3} \text{ Хн}$$

$$C = 0,1 \text{ мкФ} = 10^{-5} \text{ Ф}$$

$T = ?$

Ҳал

Мувофиқи формулаи Томсон (5.5) даври лаппишҳо дар контур:

$$T = 2\pi\sqrt{LC} \approx 2 \cdot 3,14 \cdot \sqrt{10^{-3} \text{ Гн} \cdot 10^{-5} \text{ Ф}} = 6,28 \cdot 10^{-4} \text{ c} = 62,8 \text{ мс}$$

мебошад.

Ҷавоб: $T \approx 62,8 \text{ мс}$.

Мисоли 5.2. Рӯяхи конденсатори ҳамвори ҳавоии контуреро, ки дар он лаппишҳои озои бардавом (ҳомӯшнашаванда) сурат гирифта метавонанд, қадре заряднок карданд, ки дар он энергияи $W = 6 \cdot 10^{-6} \text{ Ҷ}$ захира гардид. Сипас рӯяхоро охиста аз ҳам ҷунон дур андохтанд, ки басомади лаппишҳо $n = 3$ маротиба афзуд. Дар ин ҳол бар зидди қувваҳои электрӣ чӣ қадар кор иҷро кардан лозим омад?

Маълумот:

$$W = 6 \cdot 10^{-6} \text{ Ҷ}$$

$$n = 3$$

$$A = ?$$

Ҳал

Кори матлубро чун
меёри тағйироти энергияи
конденсатор пешниҳод кардан
мумкин аст:

$$A = W' - W = \frac{q_m^2}{2} \left(\frac{1}{C'} - \frac{1}{C} \right) = W \left(\frac{C}{C'} - 1 \right),$$

ки дар ин ҷо q_m -қимати амплитудавии заряди конденсатор, $W = \frac{q_m^2}{2C}$ - энергияи дар конденсатор захирагардида мебошанд. Аз тарафи дигар,

$$n = \frac{\omega_0}{\omega} = \sqrt{\frac{C}{C'}} \text{ ё ки } \frac{C}{C'} = n^2 \text{ буданаширо ба эътибор мегирем. Аз ин рӯ:}$$

$$A = W(n^2 - 1) = 6 \cdot 10^{-6} (3^2 - 1) \text{ Ҷ} = 48 \cdot 10^{-6} \text{ Ҷ} = 48 \text{ мкҶ.}$$

$$\text{Ҷавоб: } A = 48 \text{ мкҶ.}$$

§5.2. Лаппишҳои озоди хомӯшшаванда

Лаппишҳои дар контури муқовиматаш $R = 0$ суратгиранда чун ҳар гуна ҳаракати бесоиши ғайривокетӣ, яъне ҳаёлианд. Дар ҳар контур асосан аз ҳисоби печакҳои ғалтаки индуктивӣ муқовимати омӣ (R) баробари сифр нест, ҳарчанд назарногир аст. Аз ин рӯ дар ҳар даври лаппиш ҳеле кам бошад ҳам, талафи энергияи дар контур захирагардида ба гармии ҷоулу лентӣ баъди заряднок кардани конденсатору ба ҳоли худ гузоштани контур ба хомӯш шудани лаппишҳои озод меоварад. Тадқиқоти таҳлиلى инро тасдиқ мекунанд. Дарвоқеъ, ҳангоми $R \neq 0$, будан мувофиқи қойидаи дуҷуми Кирхгоф афтиши шиддатро дар ин муқовимат низ бояд ба эътибор гирифт (ба §5.1 ниг.):

$$U_R + U_C = \mathcal{E}_s$$

ё ки

$$IR + \frac{1}{C} q = -L \frac{dI}{dt}$$

Ин муодиларо бо дарназардошти он, ки

$$I = \frac{dq}{dt} = \dot{q}; \quad \frac{dI}{dt} = \frac{d^2 q}{dt^2} = \ddot{q}$$

мебошанд ба намуди зерин пешниҳод карда метавонем:

$$\ddot{q} + \frac{R}{L} \dot{q} + \frac{1}{LC} q = 0. \quad (5.10)$$

Чун дар мавриди лаппишҳои механикӣ коэффитсиенти хомӯшшавӣ:

$$\beta = \frac{R}{2L} \quad (5.11)$$

ворид мекунем ва

$$\frac{1}{LC} = \omega_0^2$$

буданаширо ба назар мегирем, он гоҳ (5.10)-ро чун:

$$\ddot{q} + 2\beta\dot{q} + \omega_0^2 q = 0 \quad (5.12)$$

пешниҳод карда метавонем. Ин муодилаи дифференсиалии тартиби дуюми якҷинсаи коэффитсиентҳояш дойимӣ муодилаи лаппишҳои озоди хомӯшишаванда мебошад ва ҳалли он мувофиқи назарияи муодилаҳои дифференсиалӣ функцияи зерини гармоникӣ буданаширо хотиррасон менамоем:

$$q = q_m e^{-\beta t} \cos(\alpha t - \varphi_0). \quad (5.13)$$

Яъне, лаппишҳои заряд дар рӯяҳои конденсатор (аз ин рӯ кувваи ҷараён дар контур, афтишҳои шиддат) мувофиқи қонуни лаппишҳои гармоникӣ сурат мегиранд, вале бар хилофи лаппишҳои гармоникӣ амплитудаашон дойимӣ амплитудан лаппишҳои хомӯшишаванда мутобикӣ қонунӣ.

$$q = q_m e^{-\beta t} \quad (5.14)$$

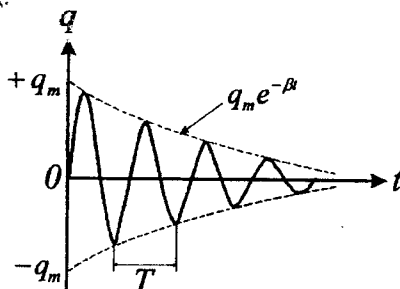
бо мурури замон кам шуда меравад (расми 5.3). Аз ифодаи коэффитсиенти хомӯшишавӣ (5.11) бармеояд, ки ҳар қадар муқовимати омӣ (R) зиёд бошад, коҳиши амплитудан лаппишҳо ҳамон қадар ба зудӣ сурат мегирад, ки онро бузургии ба ном *декременти хомӯшишавӣ*:

$$\delta = \frac{q(t)}{q(t+T)} = e^{\beta T} \quad (5.15)$$

инчунин *декременти логарифмӣ*:

$$\theta = \ln \delta = \ln \frac{q(t)}{q(t+T)} = \beta T = \frac{T}{\tau} = \frac{1}{N_e} \quad (5.16)$$

таъсиф менамоянд.



Расми 5.3

Декременти хомӯшишавӣ муайян мекунад, ки пас аз гузаштани як даври лаппиш (T) амплитудан лаппишҳо e ($\approx 2,72$) маротиба коҳиш меёбад. Дар ифодаи (5.16) $\tau = \frac{1}{\beta} = \frac{2L}{R}$ - тӯли вақти релаксатсия, ки баъди гузаштани он амплитудан лаппишҳо e маротиба кам мешавад, N_e - шумораи ин лаппишҳо мебошад.

Нишон додан мумкин аст, ки басомад ва даври лаппишҳои озоди хомӯшишавандаро бо формулаҳои зерин муайян мекунам:

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}; \quad (5.17)$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}} \quad (5.18)$$

Дарвокеъ, хангоми $R=0$ ифодаҳои (5.17) ба (5.4) ва (5.18) ба (5.5) табдил меёбанд.

Контури лаппишро аксар бо бузургии ба истилоҳ *судмандӣ* Q тавсиф медиҳанд, ки он ба баръакси декременти логарифмӣ хомӯшшавӣ мутаносиб буда, бо формулаи:

$$Q = \frac{\pi}{\theta} = \pi N_c \quad (5.19)$$

муайян карда мешавад. Яъне ҳар кадар N_c зиёд бошад, судмандии контур баландтар аст.

Мувофиқи (5.13) конуни хомӯшшавиӣ шиддати конденсаторро ёфта метавонем:

$$U = \frac{q_m}{C} e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi_0) = U_m e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi_0). \quad (5.20)$$

Конуни кохиши қувваи ҷараёно низ муқаррар кардан мумкин аст: барои ин аз (5.13) нисбат ба вақт ҳосила гирифтаи мебоҷад. Ин амал баъди ворид кардани $\sqrt{\omega^2 + \beta^2} = \sqrt{\omega_0^2} = \omega_0$ чунин натиҷа медиҳад:

$$I = \omega_0 q_m e^{-\beta t} \left[-\frac{\beta}{\sqrt{\omega^2 + \beta^2}} \cos(\omega t + \varphi_0) - \frac{\omega}{\sqrt{\omega^2 + \beta^2}} \sin(\omega t + \varphi_0) \right]$$

Ифодаи кунҷи ψ -ро мувофиқи шарт:

$$\cos \psi = -\frac{\beta}{\sqrt{\omega^2 + \beta^2}} = -\frac{\beta}{\omega_0}; \quad \sin \psi = \frac{\omega}{\sqrt{\omega^2 + \beta^2}} = \frac{\omega}{\omega_0}; \quad (21)$$

ворид сохта, конуни хомӯшшавиӣ қувваи ҷараёно дар намуди:

$$I = \omega_0 q_m e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi_0 + \psi) = I_m e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi_0 + \psi) \quad (5.22)$$

пешниҳод карда метавонем. Азбаски $\cos \psi < 0$ вале $\sin \psi > 0$ мебошад, ҳудуди кунҷи ψ чунин буданаш муқаррар мешавад:

$$\frac{\pi}{2} < \psi < \pi.$$

Ҳамин тариқ, хангоми дар контур мавҷуд будани муқовимати ғайрӣ (R) қувваи ҷараён назар ба шиддат дар конденсатор аз ҷиҳати фаза ба қадри аз $\pi/2$ то π пеш меравад (дар ҳоли $R=0$ ин пешравӣ ба $\pi/2$ баробар буданашро хотиррасон менамоем).

Мисоли 5.3. Контури лаппиш аз ғалтаки индуктивияташ $L=2,5$ мҲи, конденсатори ғунҷоишаш $C=1$ мкФ ва резистори муқовиматаш $R=1$ Ом таркиб ёфтааст. Даври лаппишҳо дар контур ва декременти логарифмӣ хомӯшшавиро муайян намоед.

Маълумот:

$$L = 2,5 \text{ мГн} = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$$

$$C = 1 \text{ мкФ} = 10^{-6} \text{ Ф}$$

$$R = 1 \text{ Ом}$$

$$T = ? \quad \theta = ?$$

Аввало β хомӯшшавиро меёбем:

$$\beta = \frac{R}{2L} = \frac{1 \text{ Ом}}{2 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}} = 200 \text{ с}^{-1}.$$

 Даври T лаппишҳои хомӯшшаванда:

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}} = \frac{2 \cdot 3,14}{\sqrt{\frac{1}{2,5 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} \cdot 10^{-6} \text{ Ф}} - \frac{1}{4 \cdot (2,5 \cdot 10^{-3} \text{ Гн})^2}}}$$

$$= \frac{6,28}{\sqrt{4 \cdot 10^8 - 4 \cdot 10^4}} \text{ с} \approx \frac{6,28}{2 \cdot 10^4} \text{ с} = 3,14 \cdot 10^{-4} \text{ с}$$

аст.

Пас,

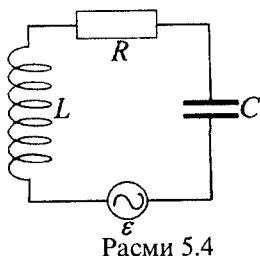
$$\theta = \beta T = 200 \text{ с}^{-1} \cdot 3,14 \cdot 10^{-4} = 0,0628 \approx 0,063$$

будана ш маълум мегардад.

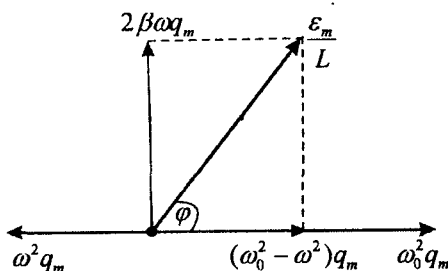
Ҷавоб: $T = 0,314 \text{ мс}$; $\theta = 0,063$.

§5.3. Лаппишҳои маҷбурии электромагнитӣ. Резонанси электрӣ

Тавре ки маълум аст, ҳангоми лаппишҳои бардавомии электромагнитӣ ба тӯфайли гармии ҷоулу лентӣ талафоти энергияи дар контур захирагардида сурат мегирад. Пас, ин талафотро пардохт намунодан лозим меояд. Чунин амалро бо ёрии қувваҳои доимӣ ба сомон расондан муяссар намешавад, зеро бо таъсири онҳо лаппишҳо ба вуҷуд намеоянд. Дар қисми механика таъкид шуда буд, ки барои ин мақсад ягон навъ омили тағйирёбанда бояд бошад, Ҳамин аст, ки одатан барои ҳосил кардани лаппишҳои хомӯшнашаванда ба контури лаппиш манбаи шиддаташ мувофиқи қонуни гармоникӣ тағйирёбандаро васл месозанд (расми 5.4), зеро ингуна шиддатро бо ёрии генераторҳои ҷараёни тағйирёбанда ангизонидан имконнопазир аст.



Расми 5.4



Расми 5.5

Фарз мекунем, ки ба контури лаппиш манбайи ҚЭХ-аш мувофиқи конуни гармоникии:

$$\varepsilon = \varepsilon_m \sin \omega t, \quad (5.23)$$

ки дар ин ҷо ε_m -кимати амплитудавии ҚЭХ, ω —басомади тағйироти он мебошад, васл аст. Дар ин маврид қоидаи дуҷуми Кирхгоф барои киматҳои лаҳзавии ҚЭХ ва афтиши шиддатҳо чуноин сабт меёбад:

$$U_R + U_C = \varepsilon_s + \varepsilon. \quad (5.24)$$

Бо дарназардошти ишоратҳои дар §5.2 воридсохта ин муодиларо ба намуди зерин пешниҳод карда метавонем:

$$\ddot{q} + 2\beta\dot{q} + \omega_0^2 q = \frac{\varepsilon_m}{L} \sin \omega t. \quad (5.25)$$

Ифодаи (5.25) муодилаи лаппишҳои маҷбурӣ доништа мешавад, ки он муодилаи дифференсиалии тартиби дуҷум бо коэффитсиентҳои доимии ғайриякҷинса мебошад. Мувофиқи назарияи муодилаҳои дифференсиалии ҳалли ин муодила аз ҳосили ҷамъи ҳалли умумии муодилаи якҷинса, яъне (5.13) ва ҳалли хусусии муодилаи ғайриякҷинса иборат аст.

Ҳалли муодилаи якҷинсаро дар §5.2 муҳокима кардем ва нишон додем, ки он лаппишҳои хомӯшшавандаро ифода менамояд ва онҳо баъди муддати на чандон тӯлонӣ барҳам меҳӯранд. Сипас, лаппишҳо тавре сурат мегиранд, ки лаппишҳои барқароршуда ном гирифтаанд ва ба ҳалли хусусии муодилаи ғайриякҷинсаи (5.25) мувофиқанд. Ин ҳалро чун функцияи гармоникии:

$$q = q_m \sin(\omega t + \varphi) \quad (5.26)$$

пешниҳод кардан табиист, ки дар он q_m (кимати амплитудавии заряди рӯяҳои конденсатор) ва φ ханӯз бузургҳои номаълуманд. Барои муайян кардани онҳо аз функцияи (5.26) нисбат ба вақт ҳосилаҳои тартиби якум ва дуҷумро дарёфта, ба муодилаи (5.25) баргузор намудан лозим аст:

$$\dot{q} = I = q_m \omega \cos(\omega t + \varphi) = q_m \omega \sin\left(\omega t + \varphi + \frac{\pi}{2}\right) = I_m \sin\left(\omega t + \varphi + \frac{\pi}{2}\right); \quad (5.27)$$

$$\ddot{q} = \frac{dI}{dt} = -q_m \omega^2 \sin(\omega t + \varphi) = I_m \omega \sin(\omega t + \varphi + \pi), \quad (5.28)$$

ки дар онҳо бузургии:

$$I_m = q_m \omega \quad (5.29)$$

кимати амплитудавии қувваи ҷараён дар контур мебошад. Ҳамин аст, ки муодилаи (5.25) намуди зерин мегирад:

$$q_m \omega^2 \sin(\omega t + \varphi + \pi) + 2\beta \omega q_m \sin\left(\omega t + \varphi + \frac{\pi}{2}\right) + \omega_0^2 q_m \sin(\omega t + \varphi) = \frac{\varepsilon_m}{L} \sin \omega t. \quad (5.30)$$

Тарафи чапи ин ифода аз ҷамъбасти се лаппиши гармоникӣ басомадашон баробару бо фазаашон фарқдошта таркиб ёфта, лаппиши гармоникӣ натиҷавии тарафи ростро ташкил медиҳанд.

Барои дарёфтани бузургҳои номаълуми q_m ва φ истифодаи мафҳуми вектор-амплитуда, яъне диаграммаи векторӣ (ба §4.8 ниг.),

ки амали чамъи лаппишхоро содда мегардонад, мусоид аст, (расми 5.5).

Аз расми 5.5 ҳувайдост, ки:

$$q_m^2 (\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\beta^2 \omega^2 q_m^2 = \frac{\varepsilon_m^2}{L^2}$$

мебошад, пас,

$$q_m = \frac{\varepsilon_m}{L\sqrt{4\beta^2 \omega^2 + (\omega_0^2 - \omega^2)^2}} \quad (5.31)$$

ва

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{2\beta\omega}{\omega_0^2 - \omega^2} \quad (5.32)$$

буданаш маълум мегардад, ки онҳоро бо дарназардошти:

$$I_m = q_m \omega; \quad \beta = \frac{R}{2L}; \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

дар намудҳои:

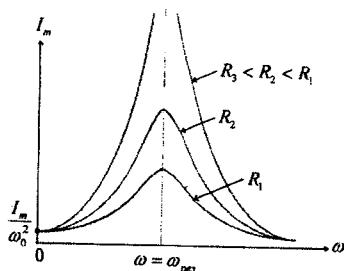
$$I_m = \frac{\varepsilon_m}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C} - \omega L\right)^2}}; \quad (5.33)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{R}{\frac{1}{\omega C} - \omega L} \quad (5.34)$$

пешниҳод карда метавонем.

Ҳамин тариқ, ифодаи (5.33) конуни тағйироти қувваи ҷараёниро дар контури лаппиш бо таъсири манбаи ҚЭХ-аш мувофиқи ифодаи (5.23) бо басомади ω тағйирёбанда муайян менамояд (ёдрас мешавем, ки $I_m = \sqrt{2}I$ ва $\varepsilon_m = \sqrt{2}\varepsilon$ мебошанд, аз ин рӯ (5.33)-ро барои қиматҳои самарабахши қувваи ҷараён I ва ҚЭХ ε низ истифода бурдан раво аст).

Акнун вобастагии I_m -ро ба басомади манбаи беруна ω таҳлил мекунем. Ин вобастагӣ ба тарзи графикӣ дар расми 5.6 тасвир ёфтааст.



Расми 5.6

Пеш аз хама диққатро ба он ҷалб намудан лозим аст, ки хангоми баробари сифр шудани ифодаи $(1/(\omega C) - \omega L)$ дар (5.33) амплитудаи кувваи ҷараён I_m кимати зиёдтарин мегирад ва ин ҳодиса *резонансӣ электрӣ* ном дорад. Шартӣ муайян кардани басомади резонансӣ $\omega = \omega_{рез}$ чандон душвор нест:

$$\frac{1}{\omega_{рез} C} - \omega_{рез} L = 0.$$

Аз ин ҷо

$$\omega_{рез}^2 = \frac{1}{LC}$$

ё ки

$$\omega_{рез} = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \omega_0. \quad (5.35)$$

Яъне, ҳодисаи резонанси электрӣ мавриди ба басомади хусусии контури лаппиш ω_0 баробар шудани басомади манбаии беруна ω рӯй медиҳад. Шартӣ резонансӣ имконият фароҳам меоварад, ки ҳатто лаппишҳои хеле суст ошкор сохта шаванд. Ҳамин аст, ки ҳодисаи резонанси электрӣ барои қабули интихобии сигнали ин ё он стансияи радио, канали дилхости телевизион ва номерҳои мушаххаси телефонҳои мобилӣ васеъ истифода мебаранд.

Ҳар қадар муқовимати омӣ контур хурд бошад, максимуми хати қачи резонансӣ ҳамон қадар баландтар аст (расми 5.6). Хангоми $R \rightarrow 0$ фарқи фазаҳои тағйироти кувваи ҷараёни контур ва ҚЭХ-и манбаъ мувофиқи (5.34), ки дар ин контур амал мекунад, $\varphi \rightarrow 0$.

Дар ҳоли $\omega \rightarrow 0$ амплитудаи кувваи ҷараён ба кимати доимии

$I_m = \frac{\varepsilon_m}{L\omega_0^2}$ баробар мешаваду хангоми $\omega \rightarrow \infty$ бузургии I_m ба сифр майл мекунад, зеро дар басомадҳои хеле баланд лаппишҳои контур фурсат намеёбанд, ки ба тағйироти ҚЭХ-и манбаии беруна мувофиқат намоянд.

Мисоли 5.4. Ба контуре, ки аз ғалтаки индуктивияташ $L = 0,5$ мҲи, муқовиматаш $R = 50$ Ом ва конденсатори ғунҷоинаш $C = 0,2$ мкФ таркиб ёфтааст, манбаии ҚЭХ-аш мувофиқи қонуни $\varepsilon = 100 \sin 3 \cdot 10^5 \pi$ тағйирёбандаро васл карданд. Оё резонанси электрӣ рӯй медиҳад?

Маълумот:

$$L = 0,5 \text{ мҲи} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ Ҳи}$$

$$R = 50 \text{ Ом}$$

$$C = 0,2 \text{ мкФ} = 2 \cdot 10^{-7} \text{ Ф}$$

$$\varepsilon = 100 \sin 3 \cdot 10^5 \pi$$

$$\omega_{рез} - ?$$

Ҳал

Аз қонуни тағйироти ҚЭХ маълум аст, ки басомади тағйироти он:

$$\omega = 3 \cdot 10^5 \pi = 9,42 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}$$

мебошад. Басомади лаппишҳои озод (хусусӣ) дар контур:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{5 \cdot 10^{-4} \text{ Гн} \cdot 2 \cdot 10^{-7} \text{ Ф}}} = 10^5 \text{ с}^{-1}$$

буданаширо доништа, хулоса гирифтани душвор нест, ки шартҳои рӯй додани резонанси электрии ҷой надорад.

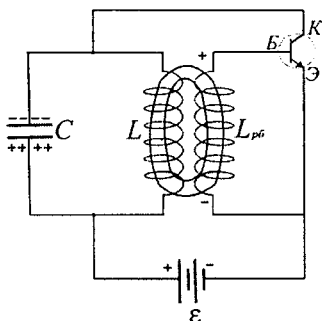
Ҷавоб: $\omega_0 \neq \omega$.

§5.4. Генератори лапшиҳои баландбасомади бардавом

Маълум аст, ки генераторҳои электростансияҳо ҷараёни басомадаш $\nu = 50 \text{ Ҳс}$ истифода мекунанд, ки ба адади гардишҳои ротори генераторҳо дар гирди меҳвараш вобаста аст. Аммо барои алоқа тариқи радио, телевизион, телефонҳои мобилӣ басомадҳои садҳо мегагерсӣ қорбаст мешаванд, ки тавассути гардишҳои механикӣ дастрас намудан ғайри имкон мебошад. Ҳамин аст, ки лапшиҳои электромагнитии баландбасомад бо ёрии генераторҳои транзисторӣ амалӣ карда мешаванд. Дар ин ҷуна генераторҳо асосан *автолапшиҳо* сурат мегиранд.

Тавре ки дар механика зикр ёфта буд, автолапшиҳо-лапшиҳои хомӯшнашавандаанд, ки аз ҳисоби манбаи берунаи доимии энергия дастгирӣ меёбанд. Онҳо аз лапшиҳои маҷбурӣ, ки бо таъсири қувваҳои берунаи тағйирёбанда ангезонида мешаванд, ба қуллӣ фарқ доранд. Системае, ки дар он автолапшиҳо ба вучуд меоянд, худ таъсири берунаро танзим медиҳад (номи автолапшиҳо маҳз аз ҳамин ҷост). Ин ҷуна система энергияро ҷун дар соатҳои деворӣ аз манбаи берунаи доимӣ бо ҷузъҳои муайян барои пардохти талафоти энергия, ки боиси хомӯшшавии лапшиҳо мегардад, дар лаҳзаҳои мусоиди вақт ворид мекунанд. Маҳз барои ин мақсад транзистор қорбаст мешавад. Транзистор ҷун қалиди зудамал хизмат мекунанд, ки манбаи берунаро васлу ҷудо месозад.

Схемаи соддатарини генератори транзисторӣ лапшиҳои давомдор дар расми 5.7 тасвир ёфтааст.



Расми 5.7

Контурҳои лапшиш ба манбаи ҷараёни доимӣ $\mathcal{E}$, тавассути транзистор пай дар пай васл мебошад. Замоне ки рӯи поёнии конденсатори контур мусбат заряднок мегардад (дар расми 5.7 маҳз ҳамин лаҳза оварда шудааст) ба контур энергия интиқол меёбад.

Барои ин лаҳзаи мусоидро фароҳам овардан бояд ба базан транзистор B (ба §2.10 ниг.) қутби мусбату ба эмиттер $\mathcal{E}$ қутби манфӣ дода шавад. Ин гуна қутбнокшавии шиддат бо ёрии ғалтаки ба ном *робитаи баръакси индуктивӣ* - L_{pi} амалӣ мегардад. Ҳангоми дар контур ҷараёни безарядшавӣ ба вучуд омадан хатҳои магнитии майдони ин ҷараён дар ғалтаки индуктивии контур L печаҳои ғалтаки L_{pi} - бурида дар он ҚЭХ-и даврӣ тағйирёбандаи индуксиониро меангезонанд. Ҳамин ки рӯи поёнии конденсатори контур C манфӣ заряднок мешавад, ҷараён ба воситаи транзистор қатъ меёбад. Баъди ним даври лаппиш дар контур аз транзистор боз ҷараён мегузараду ба контур энергия ворид мешавад.

Ҳамин тарик, пас аз ҳар як ним давр дар контур аз ҳисоби манбаи беруна талафи энергия, ки асосан ба гармии ҷоулу ленси ҳарч мешавад, пардохт мегардад. Дар натиҷа лаппишҳои бардавоми басомадашон ба формулаи Томсон (5.4) мувофиқро ангезонида мешаванд.

§5.5. Паҳншавии майдони электромагнитӣ

Таҳлили конуни Био-Савар-Лаплас дар асоси назарияи электромагнитии Максвелл ба хулосаҳои ҷолиб меорад. Дарвоқеъ, индуксияи майдони магнитие, ки ҷузъи ҷараён Idl дар нуктаи аз он ба кадри r дур ҷойгирбуда ба вучуд меорад, мувофиқи ин конун:

$$dB = \mu\mu_0 \frac{Idl}{4\pi r^2} \sin\alpha \quad (5.36)$$

буданашро хотиррасон менамоем (α -кунҷи байни самти ҷараён ва радиус-вектори нукта $\vec{r}$ аст). Агар ба эътибор гирем, ки ҷараёнро ҳаракати ботартибонаи N - то зарраи зарядноки q -и суръаташон $\mathcal{V}$ ташкил медиҳад ва дарозии dl -и ҷузъро зарядҳо дар тӯли вақти dt мепаёмоянд, $dl = \mathcal{V}dt$ мебошад. Дар тӯли ин вақт қувваи ҷараёнро чун $I = \frac{dq}{dt} N = \frac{Nq}{dt}$ ҳисобидан равоаст. Ҳамин аст, ки (5.36) намуди зерин мегирад:

$$dB = \mu\mu_0 \frac{Nq\mathcal{V}}{4\pi r^2} \sin(\vec{\mathcal{V}}, \vec{r}).$$

Агар индуксияи майдони магнитии бо якто заряд алокамандро бо $B = dB/N$ муайян намоем, он дар нуктаи A (расми 5.8):

$$B_A = \mu\mu_0 \frac{q\mathcal{V}}{4\pi r^2} \sin(\vec{\mathcal{V}}, \vec{r}) \quad (5.37)$$

буданаш маълум мегардад. Акнун ба хотир меорем, ки шадидияти майдони электрии заряди q дар ҳамон нуктаи A :

$$E_A = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2}$$

аст, ифодаи (5.37)-ро ба намуди:

$$B_A = \epsilon_0\mu_0\epsilon\mu\mathcal{V}E \sin(\vec{\mathcal{V}}, \vec{E}) \quad (5.38)$$

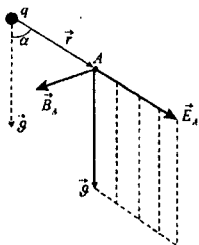
оварда метавонем.

Нишон додан душвор нест, ки ҳосили зарби дойимиҳои электрӣ ϵ_0 ва магнитӣ μ_0 ба бузургии баръакси квадрати суръати рӯшноӣ дар вакуум ($c = 299792 \text{ м/с} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$) баробар мебошад:

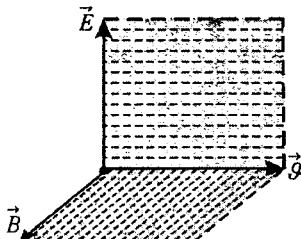
$$\epsilon_0 \mu_0 = \frac{1}{c^2}. \quad (5.39)$$

Аз ин рӯ (5.38) намуди зерин мегирад:

$$B_A = \frac{\epsilon \mu}{c^2} \mathcal{E} \sin(\vec{\mathcal{Q}}, \vec{E}).$$



Расми 5.8



Расми 5.9

Яъне, майдони электрии шадидияташ E , ки бо суръати $\mathcal{Q}$ пахн мешавад, майдони магнитии индуксияаш B -ро тавлид менамояд ва онро бо формулаи:

$$B = \frac{\epsilon \mu}{c^2} \mathcal{E} \sin(\vec{\mathcal{Q}}, \vec{E}) \quad (5.40)$$

ё ба тарзи векторӣ:

$$\vec{B} = \frac{\epsilon \mu}{c^2} [\vec{\mathcal{Q}}, \vec{E}] \quad (5.41)$$

муайян карда метавонем. Ачиб аст, ки вектори $\vec{B}$ мувофиқи қойидаи зарби вектории $[\vec{\mathcal{Q}}\vec{E}]$ ба ҳамвории ин ду вектор воқеъгардида амудан равона мебошад (ба расми 5.8 ниг.).

Ҳамин гуна таҳлили қувваи лоренсӣ дар асоси назарияи электромагнитии Максвелл низ ба ҳулосаи диққатангез меоварад. Дарвоқеъ, (ба §3.6 ниг.) ба заряди q -и дар майдони магнитии индуксияаш B -и бо суръати $\mathcal{Q}$ дар ҳаракатбуда қувваи лоренсии:

$$F_s = q \mathcal{Q} B \sin(\vec{\mathcal{Q}}, \vec{B}) \quad (5.42)$$

таъсир мекунад. Агар тассавур намоем, ки ин қувва ба заряди ороми q аз ҷониби майдони магнитии нисбат ба ин заряд бо суръати $\vec{\mathcal{Q}}$ дар ҳаракатбуда таъсир расонад, бино ба ақидаи Максвелл, мисли таҳлили болоӣ ин майдони ҳаракатманд майдони электрии шадидияташ E -ро меангезад. Майдони электрӣ дар навбати худ ба заряди ороми q таъсир мекунад. Аз ин рӯ қувваи лоренсиро чун:

$$F_s = qE$$

донистан равоаст ва (5.42)-ро ба намуди:

$$E = \mathcal{Q} B \sin(\vec{\mathcal{Q}}, \vec{B})$$

ё ба тарзи векторӣ:

$$\vec{E} = -[\vec{\partial}\vec{B}] \quad (5.44)$$

пешниҳод карда метавонем. Яъне, майдони магнитии индуксияш B -и бо суръати $\mathcal{G}$ дар ҳаракатбуда майдони электрии тавлид менамояд, ки шадидияташро мувофики (5.43) ё (5.44) муайян намудан мумкин аст.

Лозим ба ёдоварист, ки ифодаҳои (5.43) ва (5.44) ба (5.40) ва (5.41) шабеҳанд. Ачиб аст, ки (5.44) пурра ба муодилаи якуми Максвелл (4.86) мувофиқат мекунад ва онро чун ифодаи мавриди махсуси ин муодила доништан равоаст. Гузашта аз ин, самти вектори $\vec{E}$ низ ба зарби вектории $-\vec{\partial}\vec{B}$ рост меояд (ба расми 5.9 ниг.).

Хулосаи муҳимтарине, ки аз муқоисаи ифодаҳои (5.41) ва (5.44) бармеояд, $\mathcal{G}$ дар онҳо на суръати нисбӣ, балки суръати умумии майдони ягонаи электромагнитӣ мебошад. Дикқатангез аст, ки векторҳои $\vec{\partial}$, $\vec{E}$ ва $\vec{B}$ мувофики зарбҳои вектории (5.41) ва (5.44) ба ҳам амуданд: $\vec{E} \perp \vec{\partial}$, $\vec{B} \perp \vec{\partial}$, пас $\vec{E} \perp \vec{B}$ мебошад (расми 5.9). Аз ин рӯ дар ифодаҳои (5.40) ва (5.43):

$$\sin(\vec{\partial}, \vec{B}) = \sin(\vec{\partial}, \vec{E}) = 1$$

буданаширо ба эътибор гирифта, формулаҳои зеринро сабт карда метавонем:

$$B = \frac{\varepsilon\mu}{c^2} \mathcal{G}E; \quad (5.45)$$

$$E = \mathcal{G}B. \quad (5.46)$$

Ингуна тарзи пешниҳоди муодилаҳои Максвелл, ки таносуби байни бузургҳои $\vec{E}$ ва $\vec{B}$ дар нуктаи муайяни майдони ягонаи электромагнитиро ифода мекунанд, ба хулосаи минбаъдаи умумӣ меоварад: *ҳар гуна тағйироти майдони электрӣ ё магнитӣ боиси пайдоиши майдони электромагнитӣ мегардад, ки бо суръати $\vec{\partial}$ -и самташ ба векторҳои $\vec{E}$ ва $\vec{B}$ амудан равонабуда паҳн мешавад ва онҳо ҳамчун майдони ягонаи электромагнитиро дар нуктаи муайяни ин майдон тавсиф медиҳанд.* Чунончӣ, агар дар нуктае майдони электрии мувофики қонуни гармоникӣ бо басомади ω , лаппишхӯранда ба вучуд ояд, фаврӣ майдони магнитии мувофики ҳамон қонун лаппишхӯрандаи бо он алоқамандро тавлид менамояд, ки ҳамвории ин лаппишҳо суратгиранда ба самти паҳншавии майдони электромагнитии бо векторҳои $\vec{E}$ ва $\vec{B}$ дар ҳар як нуктаи ин майдон тавсифёбанда амуд аст.

Барои муайян кардани бузургии суръати паҳншавии майдони электромагнитӣ $\mathcal{G}$ ифодаҳои (5.44) ва (5.45)-ро аъзо ба аъзо зарб задан кофист:

$$BE = \frac{\varepsilon\mu}{c^2} \mathcal{G}^2 EB,$$

аз ин ҷо

$$\mathcal{G} = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon\mu}} \quad (5.47)$$

буданаши маълум мегардад. Ачиб аст, ки дар вакуум, инчунин муҳитҳои шаффоф, масалан ҳаво амалан $\varepsilon = \mu = 1$ буда, майдони

электромагнитӣ дар вакуум бо суръати ба суръати рӯшноӣ баробар паҳн мешавад. Хамин буд, ки Максвелл табиати электромагнитӣ доштани рӯшноиро кашф кард ва (5.47) чун қонуни Максвелл ном гирифт.

Бо сабаби бо суръати охирикӯн дар ҳар гуна муҳит паҳн шудани майдони электромагнитӣ лапшиҳои дар ягон нуқтаи муҳит ба вуҷуд омадани масалан майдони электрӣ боиси паҳн шудани он аз як нуқтаи муҳит то нуқтаи дигар, яъне ҳосил шудани мавҷи электромагнитӣ мегардад, ки яқоя бо муодилаҳои мавҷҳои дар ҳамвории ба ҳам амудан воқеъбуда тасвир карда мешавад (расми 5.10):

$$\left. \begin{aligned} E_z &= E_m \sin(\omega t - kx); \\ B_y &= B_m \sin(\omega t - kx), \end{aligned} \right\} \quad (5.48)$$

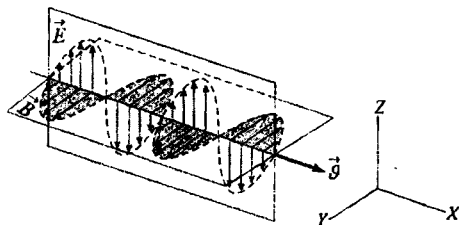
ки дар ин ҷо $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ - адади мавҷӣ ва λ - дарозии мавҷ

($\lambda = gT = \frac{g}{\nu} = 2\pi \frac{g}{\omega} = 2\pi \sqrt{LC}$) буданаширо хотиррасон мекунем.

Агар ифодаҳои (5.45) ва (5.46)-ро аъзо ба аъзо тақсим бинмоему ба эътибор гирем, ки $B = \mu\mu_0 H$ аст, бо дарназардошти (5.39) таносуби зерин ҳосил мешавад:

$$\sqrt{\mu\mu_0} H = \sqrt{\epsilon\epsilon_0} E. \quad (5.49)$$

Пас, ҳангоми паҳншавии мавҷи электромагнитии (5.48) фазаи лапшиҳои векторҳои $\vec{E}$ ва $\vec{H}$ ҳамон як қимат, яъне ин векторҳо ҳамзамон қиматҳои амплитудавӣ ва сифрӣ мегиранд.



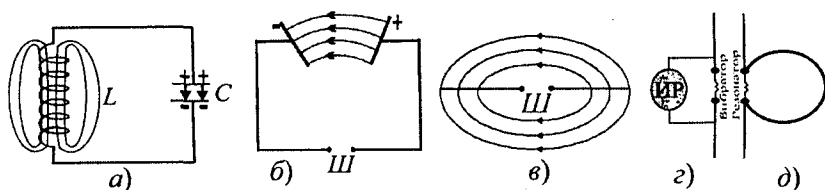
Расми 5.10

Хотирнишон кардан лозим аст, ки ҳалли муодилаҳои Максвелл (барои ин мувофиқи қоидаҳои қонунҳои математика аввало онҳоро ба шакли дифференциалӣ гардонда, сипас ҳалли муодилаҳои дифференсиалиро дарёфтан рост меояд), айнан ба ҳамин натиҷаҳо меоварад.

§5.6. Ҳосил кардани мавҷҳои электромагнитӣ. Таҷрибаҳои Хертс

Ба вуҷуд омадани паҳн шудани майдони электромагнитӣ, яъне мавҷи электромагнитиро Максвелл ҳанӯз. с. 1865-1867 ба тарзи назариявӣ дар асоси таҳлили муодилаҳои (§4.13-4.14) пешгӯӣ карда буд. Тавре ки закр ёфт, барои ҳосил кардани мавҷҳои электромагнитӣ ангезонидани майдони тағйирёбандаи электрӣ ё магнитӣ лозим меояд

ва ин раванд тавассути контурҳои лаппиш амалӣ гардонда мешавад. Вале контурҳои мукаррарие, ки оид ба онҳо дар §5.1 муҳокимаронӣ карда будем, барои ин амал чандон созгор нестанд. Дар онҳо майдонҳои электрию магнитӣ ғазоҳои андозаҳояшон хеле хурди маҳдудро дарбар мегиранд: майдони электрӣ фақат дар фосилаи байни рӯяҳои конденсатор, майдони магнитӣ бошад, танҳо اندаруни печаҳои ғалтаки индуктиви контур вучуд дошта метавонанд бас. Гузашта аз ин, басомадҳои тағйироти майдонҳо дар он контурҳо чандон баланд нестанд. Ҳол он ки барои ба масофаҳои нисбатан дур паҳн гардидани лаппишҳо, тавре ки тадқиқоти ҷиддии лаппиш ва мавҷҳои механикӣ нишон доданд, басомадҳои онҳоро ҳадалимкон баланд бардоштан лозим меояд. Ин мувофиқи формулаи Томсон (5.4)-(5.5) ғунҷоиши конденсатор ва ғалтаки индуктиви контури лаппишро ба қадри имкон кам карданро тақозо менамояд. Аз ин рӯ олими олмонӣ Х. Ҳертс (1857-1894) аввалин шуда мавҷҳои электромагнитиро ба тарзи таҷрибавӣ ҳосил кард (с. 1887). Ӯ контуреро сохт, ки ҳоло *вибратори Ҳертс* ном гирифтааст (аз латинии *vibrare*-лаппиш, майл хӯрдан). Ҳертс пеш аз ҳама шумораи печаҳои ғалтаки индуктивӣ ва масоҳати рӯяҳои конденсатори контурро харҷи кам гирифта, барои афзудани ғазоҳои майдонҳои электрию магнитӣ дарбаргиранда аз контури пӯшида (расми 5.11, а) ба контури кушоди лаппиш (расми 5.11 б, в) ва дар натиҷа басомадҳои $100-1000\text{ МГц}$ (10^8-10^9 Гц)-ро ҳосил кард, ки ба дарозииҳои мавҷи якчанд метр рост меояд. Минбаъд ин схемаро дар шакли аз ду лавҳаи нокилии ба курачаҳои металлӣ васлкардаи аз ҳам бо фосилаи ҳавоӣ хурди шарораи Ш чудоро гирифта, ба индикатори Румкорф ИР пайваст (расми 5.11, з). Маҳз дар ҳамин шакл контури лаппиш ба вибратори Ҳертс табдил ёфт.



Расми 5.11

Хотирнишон кардан бамаврид аст, ки индуктори Румкорфро чун трансформатори аввалин ҳисобидан равоаст ва онро ихтироъкор Х.Д. Румкорф (1803-1877) дар Париж с. 1851 сохта буд. Ин дастгоҳ аз дилаки ба намуди дастаи парчаҳои нокилҳои оҳанини дар рӯяшон якчанд печаҳои аввали симини нисбатан ғафси изолятсияпӯш (диаметрашон 2 мм ва аз болои онҳо печаҳои дуҷуми шумораашон хеле зиёд, бештар аз $50\,000$ (аз сими бориқӣ диаметраш анқариб $0,1\text{ мм}$) таркибёфта иборат мебошад. Печаҳои аввалин тавассути калиди катъуваслсозанда ба занҷири аккумулятор пайваст аст. Дар натиҷа дар нӯғҳои печаҳои дуҷум шиддати баланди тағйирёбанда ангезонида мешавад. Замоне ки бузургии шиддати байни курачаҳои металлӣ ба қимати рахнасозандаи фосилаи ҳавоӣ баробар мегардад, дар ин фосила шарора мепараду чараёни безарядшавӣ сурат мегирад, яъне

барки минӣғури сар мезанад. Ҳамин ки дар натиҷа потенциалҳои кураҷаҳо баробар мешаванд, ҷараёни зикргардида қатъ меёбад. Сипас, шиддати байни кураҷаҳо аз нав меафзояду паридани шарора такроран рӯй медиҳад ва ҳоказо. Маҳз дар атрофи ҳамин ҷараёни безарядшавии тез-тез такрорёбанда майдони магнитии тағйирёбандаи баландбасомад меангезад ва он акнун фазои атрофи милаҳоро дарбар гирифта, дар навбати худ майдони электрии индуксиониро тавлид менамояд. Барои ошкор сохтани мавҷи ҳосилшуда Ҳергс дар масофае аз вибратораш контури нокилии дойиравӣ ё чоркунҷашакли дорои фосолаи ҳавонии шарорапар ҷойгир намуд ва он *резонатор* ном гирифт. Зеро, агар сатҳи контури он нисбат ба вибратор тавре воқеъ гардад, ки ҳаҷми майдони магнитии мавҷи электромагнитии вибратор афканда сатҳи контурро ҳарчӣ зиёдтар бурида гузаранд, дар резонатор ҚЭХ-и индуксионӣ ангезонида мешавад. Ба вучуд омадани ин ҚЭХ боиси дар фосолаи ҳавонии резонатор паридани шарора мегардид, ки ҳарчанд хеле хурд буд ва барои онро мушоҳида кардан таҷрибаро шабона гузаронидан лозим меомад. Ҳергс шакл ва андозаҳои контурро тағйир дода, ба пурзӯр шудани шарора ноил гашт, ки ба қимати амплитудавии ҚЭХ-и индуксионӣ рост меомад. Ин пурзӯршавии шарора аз резонанси лапшиҳои вибратор ва контури қабул рӯйдода дарак меод. Резонатор ном гирифтани ин контур аз ҳамин ҷост. Бо ин таҷрибаҳои Ҳергс тарзи ангезиш ва қабули мавҷҳои электромагнитиро кашф кард.

Дарозии мавҷе ки Ҳергс бо ёрии вибратор ҳосил кард, $\lambda = 3 \text{ м}$ буд. Профессори донишгоҳи Москва П.Н. Лебедев (1866-1912) вибратори минӣғурии милаҷаҳои платинӣ сохта, мавҷи дарозиаш $\lambda = 6-4 \text{ мм}$ -ро с. 1900 дастраст гардонд. Соли 1923 физики шӯравӣ Глаголева-Аркадьева (1884-1945) бо усули ҳосил кардани шарора дар байни оҳансҳои андаруни равшан муаллақбуда мавҷҳои электромагнитии дарозиашон аз 50 мм то 80 см-ро ангезонид. Сипас, солҳои бистуми садаи 20 мавҷҳои электромагнитӣ бо ёрии лампаҳои электронӣ, минбаъд аз солҳои панҷоҳум тавассути генераторҳои транзистории баландбасомади бардавом мавҷҳои пуриктидории синусоидавии дарозии мавҷашон дилхоҳро ба вучуд меовардагӣ шуданд.

Ҳамин тариқ, аз оғози таҷрибаҳои Ҳергс ва минбаъд тадқиқоти олимони дигар мавҷҳои электромагнитии дарозии мавҷашон ихтиёрӣ ангезонида, тамоми ҳулосаҳои аз муодилаҳои Максвелл гирифта дар амалия татбиқ карда шуданд. Ба хусус, маълум гардид, ки мавҷҳои электромагнитӣ пурра ба қонунҳои пахншавии рӯшноӣ дар муҳитҳои гуногун, инъикос, шикаст ва ҳатто дисперсия рӯшноӣ то ба бунёд сохтани назарияи электромагнитӣ мукаммалгардида мувофиқанд. Ин ҳулосаҳо чун ғувоҳи пирӯзӣ ва ба тарзи таҷрибавӣ қомилан тасдиқ шудани назарияи электромагнитии Максвелл эълон кардан раво аст.

Мисоли 5.5. Контури лапши аз конденсатори ғунҷоншаш $C = 0,5 \text{ мкФ}$ ва ғалтаки индуктивияташ $L = 0,5 \text{ мкҲ}$ таркиб ёфтааст. Дарозии мавҷи электромагнитие, ки контур меафканад, ёфта шавад.

Маълумот:

$$L = 0,5 \text{ мкХн} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ Хн}$$

$$C = 0,5 \text{ мкФ} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ Ф}$$

$$\lambda - ?$$

Ҳал

Дарозии мавче, ки контур
меафканад, бо формулаи:

$$\lambda = \mathcal{L}T$$

муайян карда мешавад.

Дар ин ҷо $\mathcal{L}$ -суръати паҳншавии мавҷи электромагнитӣ, ки дар
вакуум (амалан ҳаво) ба суръати рӯшноӣ баробар аст:
 $\mathcal{L} = c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$, T -даври лаппишҳои электромагнитӣ буда, онро бо
формулаи Томсон дарёфта метавонем:

$$T = 2\pi\sqrt{LC}.$$

Аз ин рӯ:

$$\lambda = 2\pi c\sqrt{LC} = 2 \cdot 3,14 \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} \cdot \sqrt{5 \cdot 10^{-7} \text{ Гн} \cdot 5 \cdot 10^{-7} \text{ Ф}} = 942,5 \text{ м}$$

будааст.

$$\text{Ҷавоб: } \lambda = 942,5 \text{ м}.$$

Мисоли 5.6. Контуре лаппиши дастгоҳи қабул (резонатор) аз
конденсатори ҳамвори ҳавоии масоҳати ҳар яке аз рӯяхояш
 $S = 100 \text{ см}^2$ ва галтаки индуктивияташ $L = 1 \text{ мкХн}$ иборат мебошад.
Барои он, ки ин контур ба мавҷи электромагнитии дарозиаш $\lambda = 10 \text{ м}$
ҷӯр гардад (ба резонанс дарояд) фосилаи байни рӯяхи конденсатор
чӣ қадар бояд бошад?

Ҳал

Маълумот:

$$L = 1 \text{ мкХн} = 10^{-6} \text{ Хн}$$

$$S = 100 \text{ см}^2 = 10^{-2} \text{ м}^2$$

$$\lambda = 10 \text{ м}$$

$$d - ?$$

Мувофиқи формулаи дар
масъалаи 5.4 оварда:

$$\lambda = cT = 2\pi c\sqrt{LC}$$

мебошад. Агар ба эътибор
гирем, ки барои ҳаво
нуфузпазирии нисбии
диэлектрикӣ $\varepsilon \approx 1$ буда,

гунҷоиши конденсатори ҳамвор дар ин ҳол бо формулаи

$$C = \frac{\varepsilon_0 S}{d}$$

муайян карда мешавад ($\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$)

$$\lambda = 2\pi c\sqrt{L \frac{\varepsilon_0 S}{d}}$$

буданаш маълум мегардад. Аз ин рӯ фосилаи матлуб d - ро ёфтан
душвор нест:

$$d = \frac{4\pi^2 c^2 L \varepsilon_0 S}{\lambda^2} = \frac{4 \cdot 3,14^2 \cdot (3 \cdot 10^8 \text{ м/с})^2 \cdot 10^{-6} \text{ Гн} \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м} \cdot 10^{-2} \text{ м}^2}{(10 \text{ м})^2} \approx$$

$$= 3,14 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 3,14 \text{ мм}$$

$$\text{Ҷавоб: } d \approx 3,14 \text{ мм}$$

§5.7. Энергияи мавҷҳои электромагнитӣ. Вектори Умову Пойтинг

Мавҷҳои электромагнитӣ чун ҳар гуна мавҷ интиқолдиҳандаи энергияанд. Дорандаи ин энергия майдони ягонаи электромагнитӣ мебошад, ки дар фазо паҳн гардида, мавҷи электромагнитиро ташкил медиҳад.

Тавре ки маълум аст, зичии ҳаҷмии энергияи майдонҳои электрию магнитӣ мувофиқан бо формулаҳои:

$$w_E = \frac{1}{2} \varepsilon \varepsilon_0 E^2; \quad w_H = \frac{1}{2} \mu \mu_0 H^2 \quad (5.50)$$

муайян карда мешаванд (дар ин ҷо E ва H шадидиятҳои ин майдонҳоянд). Аз ин рӯ зичии ҳаҷмии энергияи майдони ягонаи электромагнитиро чун:

$$w = w_E + w_H = \frac{1}{2} \varepsilon \varepsilon_0 E^2 + \frac{1}{2} \mu \mu_0 H^2 \quad (5.51)$$

пешниҳод кардан раво аст, ки бо дарназардошти (5.39), (5.47) ва (5.49) ин ифодаҳо ба намуди:

$$w = \varepsilon \varepsilon_0 E^2 = \mu \mu_0 H^2 = \sqrt{\varepsilon \varepsilon_0} E \cdot \sqrt{\varepsilon \varepsilon_0} E = \sqrt{\varepsilon \varepsilon_0} E \cdot \sqrt{\mu \mu_0} H = \frac{\sqrt{\varepsilon \mu}}{c} EH = \frac{1}{9} EH \quad (5.52)$$

оварда метавонем.

Энергияе, ки ҳар гуна мавҷ дар тӯли вақти 1 с аз сатҳи воҳидии ба самти паҳншавии мавҷ амудан ҷойгирбуда интиқол медиҳад, бо бузургии ба истилоҳ *зичии сели энергия* тавсиф ёфтанаширо хотиррасон менамоем. Зичии сели энергия чун векторе доништа мешавад, ки бо вектори суръати паҳншавии мавҷ ҳамсамт аст ва модули онро бо формулаи:

$$J = w\mathcal{V} \quad (5.53)$$

муайян мекунам, ки дар он $\mathcal{V}$ -суръати мавҷ мебошад. Қимати миёнаи зичии сели энергияро *интенсивияти мавҷ* меноманд.

Ёдрас мешавем, ки мафҳуми зичии сели энергияро барои мавҷҳои механикӣ с. 1874 олими рус Н.А. Умов (1846-1915) ворид карда буд. Соли 1884, яъне 10 сол дертар чунин векторро барои мавҷҳои электромагнитӣ олими англис Ч.Х. Пойтинг (1852-1914) пешниҳод кард ва чандон аз рӯи инсоф нест, ки дар адабиёти ғайрирусӣ онро *вектори Пойтинг* меноманд. Дуруст мебуд вектори зикрфтаро чун *вектори Умову Пойтинг* ёд бинмоем.

Пас, зичии сели энергияи мавҷи электромагнитӣ бо дарназардошти (5.52) ва (5.53) бо формулаи:

$$J = EH \quad (5.54)$$

муайян карда мешавад. Агар ба эътибор гирем, ки дар мавҷи электромагнитӣ шадидиятҳои майдонҳои электрию магнитӣ ба ҳам амуданд ва ҳосили зарби вектории $[\vec{E}\vec{H}]$ бо вектори суръати паҳншавии мавҷ ҳамсамт аст, (5.54)-ро ба тарзи векторӣ чунин пешниҳод карда метавонем:

$$J = [\vec{E}\vec{H}] \quad (5.55)$$

Усули ҳисоби энергияи мавҷи электромагнитиро тавассути вектори Умову Пойтинг дар мисоли оддӣ баррасӣ менамоем.

Энергияе, ки чараёни электрии қуввааш I дар тӯли l с аз нокили цилиндршакли дарозиаш l , радиуси масоҳати арзиаш r ва муковиматаш R интиқол медиҳад:

$$P = I^2 R$$

ва майдони электроиро дар тӯли нокили дарозиаш l дар ҳоли дар нӯғҳояш шиддати U будан:

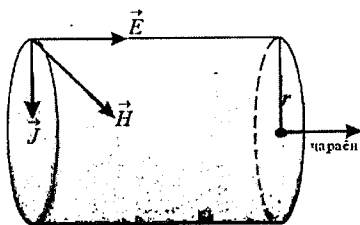
$$E = \frac{U}{l} = \frac{IR}{l}$$

сабт кардан равоаст.

Акнун ба эътибор мегирем, ки шадидияти майдони магнитии чараёни қуввааш I дар сатҳи нокил мувофиқи (3.36) бо формулаи:

$$H = \frac{I}{2\pi r}$$

муайян карда мешавад ва самти $\vec{H}$ ба вектори $\vec{E}$ (ба рафти чараён равона буданастро хотиррасон менамоям) амуд аст (расми 5.12).



Расми 5.12

Аз ин рӯ:

$$J = EH = \frac{IR}{l} \cdot \frac{I}{2\pi r} = \frac{I^2 R}{2\pi l} = \frac{P}{S_n} \quad (5.56)$$

буданаш маълум мегардад. Азбаски $S_n = 2\pi r l$ масоҳати сатҳи паҳлӯии нокил мебошад, (5.56) энергияро муайян менамояд, ки дар тӯли l с ба ҳаҷми нокил тавассути сатҳи паҳлӯии ин нокил ворид мешавад. Ба ин ҳулоса самти вектори Умову Пойтинг гувоҳӣ медиҳад, ки дар расми 5.12 нишон дода шудааст.

Диккатангез мебошад, ки назария аз майдони электромагнитии дар атрофи нокили чараёндор мавҷудбуда ба ҳаҷми нокил ворид шудани энергияро муқаррар менамояд. Симҳо бошанд, интиқоли энергияи майдони электромагнитиро раҳнамун месозанд.

Ҳамин тарик, иқтидоре, ки дар занҷири электрӣ вусъат дода мешавад, ба тарзи зайл интиқол меёбад: генератор майдони электромагнитиро ангишиш медиҳад, нокилҳо самти паҳшӯбии ин майдонро муайян менамоянд ва энергияро аз майдони электромагнитӣ гӯё «фурӯ» мебаранд ва ба навъҳои дигари энергия – механикӣ, гармӣ, рӯшноӣ ва ғайра табдил медиҳанд. Дар дастгоҳҳои радио ва телевизион низ воқеа ҳамин тарз сурат мегирад: антеннаҳои генератори лапшиҳои баландбасомади бардавом майдони тағйирёбандаи электромагнитиро паҳш менамояд, антеннаҳои стансияҳои қабул бошанд, энергияи майдоне, ки то онҳо омада

мерасад, тавассути ходисаи индуксияи электромагнитӣ «фурӯ» мебаранд ва табдили минбаъда дар манзара, садо ва ғайра чараён мегирад.

Мисоли 5.7. Дар вакуум мавҷи электромагнитии кимати амплитудавии шадидияти майдони электриаши $E_m = 50 \text{ мВ/м}$ паҳн мешавад. Интенсивияти мавҷро муайян намоед.

Маълумот:

$$E_m = 50 \text{ мВ/м} = 5 \cdot 10^{-2} \text{ В/м}$$

$J = ?$

Ҳал

Мо мавриди соддатарин-
мавҷи электромагнитии
мувофиқи (5.48) тариқи
муодилаҳои:

$$E_z = E_m \sin(\omega t - kx),$$

$$H_z = H_m \sin(\omega t - kx)$$

пешниҳод шуданашонро ба эътибор меگیرем.

Аз ин рӯ мувофиқи таъриф интенсивияти мавҷ:

$$J = \langle EH \rangle = E_m H_m \sin^2(\omega t - kx)$$

мебошад. Азбаски дар майдони ягонаи электромагнитӣ дар асоси (5.49):

$$\sqrt{\epsilon \epsilon_0} E_m = \sqrt{\mu \mu_0} H_m \text{ ва } H_m = \sqrt{\frac{\epsilon \epsilon_0}{\mu \mu}} = \sqrt{\frac{\epsilon}{\mu \mu_0}} E_m,$$

аст,

$$J = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} E_m^2,$$

инчунин

$$\langle \sin^2(\omega t - kx) \rangle = \frac{1}{2}$$

буданашро ба эътибор гирифтаем. Пас,

$$\begin{aligned} J &= \frac{1}{2} E_m^2 \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} = \frac{1}{2} (5 \cdot 10^{-2} \text{ В/м})^2 \sqrt{\frac{8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}}{4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}}} = \\ &= 33,18 \cdot 10^{-7} \frac{\text{Вм}}{\text{м}^2} \approx 3,32 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Вм}}{\text{м}^2} = 3,32 \frac{\text{мкВм}}{\text{м}^2}. \end{aligned}$$

Ҷавоб: $J = 3,32 \frac{\text{мкВм}}{\text{м}^2}.$

§5.8. Шкалаи мавҷҳои электромагнитӣ

Дарозии мавҷҳои электромагнитие, ки Х. Ҳерц ҳосил карда буд, яқчанд метрро ташкил медод. Тавре ки зикр ёфт, профессори донишгоҳи Москва П.Н. Лебедев дарозии мавҷҳои бо тарзи таҷрибавӣ ҳосилшавандаро с. 1900 сӯйи мавҷҳои кӯтоҳ то $\lambda = 6 \text{ мм}$ расонд. Минбаъд тадқиқотчиёни дигар мавҷҳои дарозияшон то

$\lambda = 0,08$ мм-ро ҳосил карданд. Олими олмонӣ Х. Рубенс (1865-1922) мавҷҳои дарозияшон $\lambda = 60$ мкм-ро дастрас гардонд.

Ҳоло зарраҳои заряднокро ба ҳаракатҳои имконпазирӣ лаппишнок дароварда, фосилаи дарозии мавҷҳои электромагнитии аз $\lambda = 0$ то $\lambda = 10^{-14}$ мм-ро ба қайд гирифтаанд. Дарвоқеъ, ин гуна лаппишҳо дар ҳамаи интиқоли электрӣ, антеннаҳои стансияҳои радио ва телевизион, телефонҳои мобилӣ, манкал (гармидиханда)-ҳои микромавҷӣ дастгоҳҳои радиолатақсонӣ, лазерҳо, ҷароғҳои электрии тафшишӣ ва люменесцентӣ, аппаратҳои рентгенӣ, моддаҳои радиоактив ба вуҷуд меоянд. Мувофиқи дарозии мавҷ ё басомадҳои таъини мавҷҳои электромагнитиро шартан ба диапазон (фосила)-ҳои алоҳида-мавҷҳои радио, шуоъҳои инфрасурх, рӯшноии намоён, шуоъҳои ултрабунафш, шуоъҳои рентгенӣ, гамма-шуоъҳо ҷудо мекунанд, вале ҳудудҳои ин диапазонҳо қатъӣ нестанд.

Ҳарчанд ҳама ин мавҷҳо табиати ягона доранд-мавҷҳои электромагнитияндо бо тарзи ангезиш, пахншавӣ, инъикос, шикаст, соҳаҳои татбиқ, ҳамтаъсирот бо модда, усулҳои қайдашон фарқ доранд.

Дар поён ин диапазонҳоро мухтасар тавсиф дода, бо баъзе хусусиятҳо, манбаъҳои онҳо, инчунин бо ҷанде аз татбиқҳои онҳо ва ҳосиятҳои онҳо шинос менамоем.

Ба **мавҷҳои радио** басомадҳои $20 \text{ кГц} - 1 \text{ ГГц}$ (дарозҳои мавҷи $\lambda = 0,3 - 1,5 \cdot 10^4 \text{ м}$) мансуб дониста мешаванд. Манбаи онҳо ҷараёнҳои тағйирёбандаи дар контурҳои лаппиш суратгирандаанд. Онҳоро барои пахши ахборот дар масофаҳои дур (радиошунавоӣ, телевизион, телефонҳои мобилӣ, радиолокаторҳо) истифода мебаранд. Аз ҷумла мавҷҳои фавқулбаландбасомад (ба лафзи русӣ СВЧ волни) — $\nu = 10^9 \text{ Гц} - 10^{11} \text{ Гц}$ ($\lambda = 1 \text{ мм} - 0,3 \text{ м}$) дар натиҷаи тағйироти суръати ҷархзании молекулаҳои модда ангезонида мешаванд ва барои алоқаи кайҳонӣ, гармидихандаҳои микромавҷӣ дар рӯзгор татбиқ меёбанд.

Афканишоти ба ҷашм наонамоёни ба ном шуоъҳои инфрасурх басомадҳои $3 \cdot 10^{11} - 3,85 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$ ($\lambda = 780 \text{ нм} - 1 \text{ мм}$)-ро дарбар мегиранд. Манбаи онҳо лаппиш ва гардишҳои молекулаҳои модда мебошанд. Мавҷҳои ин соҳаро асосан ҷисмҳои тафсон меафкананд. Ҳамин аст, ки онҳоро бештар *афканишоти ҳароратӣ* меноманд. Анқариб 50% энергияи Офтоб тавассути мавҷҳои инфрасурх интиқол меёбад ва то ба сатҳи Замин омада мерасад. Интенсивияти зиёдтарини афканишоти бадани инсон ба дарозии мавҷи $\lambda = 10 \text{ мкм}$ рост меояд. Мавҷҳои ин соҳаро, ки ба температураи ҷисм вобаста аст, барои ҷен кардани температураи онҳо, инчунин мавҷҳои инфрасурхро барои биниши шабона тавассути дурбинҳои махсус ба мақсадҳои ҳарбӣ, тиб истифода мебаранд. Бояд қайд кард, ки телевизор ва видеомагнитофонҳои замонавӣ дар масофаи маҳз тавассути шуоъҳои инфрасурх идора карда мешаванд.

Лозим ба ёдоварист, ки шуоъҳои инфрасурхро с. 1801 ситорашиноси англис У. Ҳершел (1738-1822) кашф кард. У барои ин термометри ҳассосро дар паси рангҳои сурхи спектри Офтоб ҷойгир

карда ошкор сохт, ки нишондоди термометр дар он соха яқбора афзуда меравад.

Рӯшноии намоён диапазони ягонаи мавҷҳои электромагнитӣ аст, ки ҷашми инсон дарк менамояд. Мавҷҳои рӯшноии намоён соҳаи хеле хурд-дарозиишон аз 380 нм то 780 нм ($\nu = 3,85 \cdot 10^{14} - 1,89 \cdot 10^{14}$ Ҳс)-ро ишғол мекунанду бас. Манбаии рӯшноии намоён гузаришҳои электронҳои валентии атому молекулаҳо, инчунин ҳаракати шитобдори зарраҳои озоди заряднок мебошанд. Ҳассосияти зиёдтарини ҷашми инсон ба дарозии мавҷи $\lambda = 560$ нм рост меояд.

Бояд қайд кард, ки интенсивияти максималии афканишоти Офтоб ва шаффофияти атмосфераи Замин маҳз ба ҳамин дарозии мавҷҳои электромагнитӣ мувофиқ мебошанд. Инсон ахбороти асосӣ оид ба муҳити арофи худро маҳз тавассути рӯшноии намоён мегирад.

Маълум гардид, ки мавҷҳои соҳаи намоён ба шабакии ҷашми инсон таъсироти физиологӣ расонда, дарки рангро ба вучуд меоранд. Ранг ҳосияти мавҷҳои электромагнитӣ набуда, натиҷаи таъсироти электрокимиявӣ рӯшноӣ ба системаи бинии инсон - ҷашм, асабҳо ва майна мебошад. Ҷашми инсон тақрибан ҳафт тобишҳои асосии рангҳо: *сурх* ($\lambda = 780 - 620$ нм), *поринҷӣ* (620-590 нм), *зард* (590-560 нм), *сабз* (560-500 нм), *нилобӣ* (500-480 нм), *кабуд* (480-450 нм), *бунафш* (450-380 нм)-ро фарқ мекунанд.

Рӯшноии намоён ба ҷараёни реаксияҳои кимиёвӣ дар растаниҳо таъсир мерасонад (ин ҳодиса, тавре ки маълум аст, *фотосинтез* ном дорад). Чунончӣ, ранги нилобӣ боиси диссотсиатсия (таксимот)-и молекулаҳо дар хун гардида, дар кӯдакҳои навзод ба инкишофи касалии зарпарвин мамониат мерасонад. Дар натиҷаи фотосинтез растаниҳо гази карбонатро фуру мебаранд, ки ба хориҷшавии оксиген оварда мерасонад ва сабабгори мавҷудияти ҳаёти биологӣ дар рӯи Замин мегарданд. Мувофиқи тадқиқоти олимони соли 200 миллиард тонна карбони дар раванди фотосинтез хориҷшаванда ба ташкилҳои молекулаҳои мураккаби органикӣ меоварад, ки табиати Замиро бой мекунанд.

Афканишоти ултрабунафш басомадҳои $\nu = 8 \cdot 10^{14} - 3 \cdot 10^{16}$ Ҳс ($\lambda = 10 - 380$ нм)-ро дарбар мегирад. Онҳоро гузаришҳои электронҳои валентии атому молекулаҳо, инчунин зарядҳои озоди бошитоб ҳаракатманд ба вучуд меоранд. Афканишоти ин соҳаро с. 1801 олими олмонӣ И.В. Риттер (1776-1810) кашф карда буд. Ӯ ошкор сохт, ки нукра бо таъсироти рӯшноии намоён сиёҳ мешавад. Вале дар соҳаи паси рангҳои бунафши спектри Офтоб нукра бештар сиёҳ мегардад. Ҳамин буд, мавҷудияти афканишоти ултрабунафши ба ҷашм ноён муқаррар карда шуд.

Доза (воя)-и хурди афканишоти ултрабунафш ба бадани инсон таъсироти шифобахш расонда, боиси синтези витамини *D* мегардад. Вале дозаи зиёди он зараровар аст, зеро пӯсти баданро сӯзонда, сабабгори ба вучуд омадани касалии саратони пӯст шуда метавонад. Афканишоти дарозии мавҷашон $\lambda < 300$ нм протеин (сафеда)-хоро вайрон карда, ба равандҳои ҳаёти дар организм ҳалал мерасонанд.

Ин гуна мавҷҳо, аз ҷониби дигар микроорганизмҳо нобуд месозанд ва дорои таъсироти бактериякушӣ мебошанд.

Қабати озонии атмосфераи Замин афканишоти дарозии мавҷашон $\lambda < 320$ нм-ро хуб фуру бурда, ҳайёти организмҳо аз таъсироти зараровари афканишоти ултрабунавш эмин медорад.

Бояд қайд кард, ки шишаи тирезаҳо амалан афканишоти ултрабунавшро намегузаронанд, зеро онро асосан оксиди оҳани дар таркиби шиша мавҷудбуда фуру мебарад.

Чашми инсон афканишоти ултрабунавшро дарк намекунад, зеро онҳо қабати шохмонанди гузаи чашм намегузаронад. Вале баъзе ҳайвонот афканишоти ултрабунавшро мебинанд. Чунончӣ, кабутарҳо дар рӯзҳои офтобинабуда маҳз тавассутӣ ин навь афканишот самти парвозашонро муайян мекунанд.

Афканишоти рентгенӣ фосилаи мавҷҳои дарозиашон $\lambda = 10^{-12} - 10^{-8}$ м ($\nu = 3 \cdot 10^{16} - 3 \cdot 10^{20}$ Ҳс)-ро дарбар мегирад. Ин навь афканишотро с. 1895 олими олмонӣ В.К. Рентген (1845-1923) кашф кард (барои ин кашфиёт ӯ аввалин шуда сазовори ҷойизаи Нобелӣ дар соҳаи физика гардид).

Афканишоти рентгенӣ дар натиҷаи якбора тормозхӯрии электронҳои дар майдони электрик шадидияташ калон то суръатҳои зиёд тезонида- шуда, инчунин гузаришҳои электронҳо дар қабатҳои дохилии атомҳои серэлектронӣ ҷойгирбуда ба вучуд меоянд.

Шуоҳои рентгенӣ дорои қобилияти аз қабатҳои ғафси моддаҳо гузаштан мебошанд. Онҳо аз лавҳаҳои металли ғафсиашон сантиметрӣ бемалол мегузаранд. Ба мисли он, ки рӯшноии намоён дар паси ҷисмҳои ношаффоф соя ҳосил мекунад, шуоҳои рентгенӣ дар қафои моддаҳои зичиашон калон соя меафкананд. Ҳамин аст, ки шуоҳои рентгенӣ хусусан дар тиб татбиқи ба аксар одамон маълум (тадқиқи устухонҳои осебдида, ташҳиси касалиҳои гуногуни узвҳои дигари инсон, ба хусус шуш) ёфтаанд. Гузашта аз ин, шуоҳои рентгенӣ барои таҳлили сохтори дохилии моддаҳо-панҷараҳои кристаллӣ, молекулаҳо, ошкор сохтани нуксонҳои намунаҳои ҷузъҳои яклухти металли мошинҳо, табобати касалиҳои саратон, соҳаҳои гуногуни криминалистика ва ғайра васеъ истифода мешаванд.

Дозаҳои зиёди афканишоти рентгенӣ ба тағйироти таркиби хун меоварад ва боиси касалиҳои вазнин шуда метавонанд.

Системаҳои мусоиди бақайдгирии шуоҳои рентгенӣ ва ҷойгир кардани онҳо дар кашфиётҳои кайҳонӣ имконият доданд, ки афканишоти рентгении садҳо ситораҳо, қабатҳои ситораҳои навбунёд ва галактикаҳо омӯхта шаванд.

Гамма-афканишот (худ гамма-шуоҳо) мавҷҳои ҳастанд, ки дарозии мавҷашон $\lambda = 10^{-12}$ м ($\nu > 3 \cdot 10^{20}$ Ҳс) мебошанд. Онҳо с. 1900 дар таркиби шуоҳои афкандаи моддаҳои радиоактив олими фаронсавӣ П.У. Виллер (1860-1934) кашф кард. Ӯ шуоҳои радиоактивро аз майдони пурзӯри магнитӣ гузаронда ошкор сохт, ки қисми он шуоҳо ба мисли рӯшноӣ майл намехӯрад. Ҳамин тарик, манбаи гамма-шуоҳо моддаҳои радиоактив буданашон муқаррар гардид. Минбаъд маълум шуд, ки онҳо натиҷаи равандҳои дар ядроҳо

суратгирандаанд. Ҳангоми таркиши аслиҳаҳои ядрои низ гамма-шуоъҳо афканда мешаванд.

Гамма-шуоъҳо назар ба шуоъҳои рентгенӣ дорои қобилияти зиёдтари аз қабатҳои ғафси моддаҳо гузаранда мебошанд. Онҳо аз қабатҳои метрии бетон ва якчанд сантиметрии сурб мегузаранд. Анқариб тамоми гамма-шуоъҳои аз кайҳон омадаро атмосфери Замин фуру мебарад. Ҳамин аст, ки мавҷудияти ҳаёт дар Замин имконпазир мебошад.

Ҳотирнишон сохтан бамаврид аст, ки Офтоб ба муҳити атроф дар тамоми соҳаҳои мавҷҳои электромагнитӣ энергияи анқариб 10^{26} Ҷ кадршавандаро хориҷ мекунад. Ин қадар энергия сонияе ба талаф ёфтани зиёда аз як миллион тонн массаи Офтоб мувофиқ мебошад. Агар ба эътибор гирем, ки массаи Офтоб $2 \cdot 10^{30}$ кҶ аст, ингуна талафоти масса тақрибан $6 \cdot 10^{23}$ сол тӯл кашида метавонад.

Машқи 5

Машқи 5

5.1. Контური лаппиш аз конденсатори гунҷоишаш $C = 800$ нФ ва ғалтаки индуктивияташ $L = 0,2$ мҲи таркиб ёфтааст. Даври лаппишҳои электромагнитӣ дар контур чӣ қадар аст?

$$(T = 2,5 \text{ мкс})$$

5.2. Ба контური лаппиши гунҷоишаш $C = 2$ мкФ чӣ қадар ғалтаки индуктивият васл сохта, лаппишҳои электромагнитии басомадашон $\nu = 1000$ Ҳс ҳосил карда метавонем?

$$(L = 12,7 \text{ мҲи})$$

5.3. Дар контур лаппишҳои озоди бардавоми ($R = 0$) амплитудаашон $U_m = 28,2$ В сурат мегиранд. ҚЭҲ-и худиндуксияро дар ғалтаки контур ҳангоми ба энергияи электрӣ баробар будани энергияи майдони магнитӣ муайян намоед.

$$0,09(|\mathcal{E}_s|) = U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 20 \text{ В})$$

5.4. Фарқи потенциалҳо дар рӯяҳои конденсатори контури лаппиш мувофиқи қонуни $U = 50 \cos 1000\pi$ (В) тағйир меёбад. Даври лаппишҳо дар контур чӣ қадар аст?

$$(T = 2 \text{ мс})$$

5.5. Индуктивияти контури дар масъалаи 5.3 овардашударо дар мавриди гунҷоиши конденсатори контур $C = 2$ мкФ будан дарёбед.

$$(L = 50 \text{ мҲи})$$

5.6. Контури лаппиш аз конденсатори ғунҷоишаш $C = 5 \text{ мкФ}$ ва ғалтаки индуктивияташ $L = 0,2 \text{ Хн}$ таркиб ёфтааст. Агар кимати зиёдтарини фарқи потенциалҳои рӯяҳои конденсатор $U_m = 50 \text{ В}$ бошад, дар мавриди ба эътибор нагирифтани муқовимати контур кимати зиёдтарини қувваи ҷараён дар ғалтак чӣ қадар аст?

$$(I_m = 0,25 \text{ А})$$

5.7. Контури лаппиш аз конденсатори ғунҷоишаш $C = 1 \text{ нФ}$ ва ғалтаки индуктивияташ $L = 1 \text{ мХн}$ иборат мебошад. Агар конденсатор ба кадри $U_m = 250 \text{ В}$ заряднок карда шавад, қувваи ҷараён дар контур мувофиқи кадом қонун тағйир меёбад?

Нишондод: Ба эътибор гирифта шавад, ки миқдори заряд дар рӯяҳои конденсатор мувофиқи қонуни $q = q_m \sin \omega t$ тағйир меёбад.

$$(I = 0,25 \cos 10^6 t)$$

5.8. Қонуни тағйироти энергияи майдонҳои электрӣ, магнитӣ ва бузургии энергияи пурра барои контури масъалаи 5.7 муайян карда шавад.

$$(W_E = 31,25 \sin^2 10^6 t \text{ мҶ}; W_M = 31,25 \cos^2 10^6 t \text{ мҶ}; W = 31,25 \text{ мҶ})$$

5.9. Нисбати энергияи майдонҳои электрию магнитии контури лаппишро дар лаҳзаи $t = \frac{1}{8} T$ муайян намоед. Ба эътибор гиред, ки миқдори заряд дар рӯяҳои конденсатор мувофиқи қонуни $q = q_m \sin \omega t$ тағйир меёбад.

$$(W_E / W_M = 1)$$

5.10. Контури лаппиш аз конденсатори ғунҷоишаш $C = 800 \text{ нФ}$ ва ғалтаки индуктивияташ $L = 0,2 \text{ мХн}$ таркиб ёфтааст. Даври лаппишҳои электромагнитӣ дар контур ёфта шавад.

$$(T = 2,5 \text{ мкс})$$

5.11. Контури лаппиш аз конденсатори ғунҷоишаш $C = 50 \text{ мкФ}$, индуктивияташ $L = 25 \text{ мХн}$ ва муқовимати ғаёли $R = 20 \text{ Ом}$ таркиб ёфтааст. Басомади лаппишҳои озоди ҳомӯшаванда чӣ қадар мебошад? Агар муқовимати ғаёлро ба эътибор нагирем, басомади лаппишҳо чӣ қадар тағйир меёбад?

$$(\nu_1 = 199 \text{ Ҳс}; \nu_2 = 144 \text{ Ҳс}; \Delta \nu = 57 \text{ Ҳс})$$

5.12. Дар тӯли чанд вақт дар контури аз ғалтаки индуктивияташ $L = 40 \text{ мХн}$, муқовиматаш $R = 3 \text{ Ом}$ ва конденсатори заряднок

таркибёфта шиддат 2 маротиб кам мешавад?

$$(t = 18,5 \text{ мс})$$

5.13. Мавриди конденсатори гунҷоишаш $C = 1200 \text{ нФ}$ - ро то шиддати $U = 500 \text{ В}$ заряднок кардан дар он чӣ қадар энергия захира меёбад ва мавриди конденсаторро ба ғалтаки индуктивияташ $L = 7,5 \text{ мХн}$ васл сохтан дар контури лаппиши таркибёфта қимати амплитудавии қувваи ҷараён чӣ қадар мешавад?

$$(W_m = 1,5 \text{ мкҶ}; I_m = 5 \text{ мА})$$

5.14. Судмандии контури лаппишero муайян намоед, ки аз ғалтаки индуктивияташ $L = 2 \text{ мХн}$, конденсатори гунҷоишаш $C = 0,2 \text{ мкФ}$ ва резистори муқовиматаш $R = 1 \text{ Ом}$ таркиб ёфтааст.

$$(Q = \frac{2\pi L}{RT} = 100)$$

5.15. Декременти ҳомӯшшавии контурero муайян намоед, ки дар он баъди $N = 5$ лаппиши пурра энергия $n = 8$ маротиб кам мешавад.

$$(\theta = \frac{\ln \sqrt{n}}{N} = 0,21)$$

5.16. Контури лаппиш аз конденсатори гунҷоишаш $C = 400 \text{ нФ}$, ғалтаки индуктивияташ $L = 10 \text{ мХн}$ ва муқовимати $R = 2 \text{ Ом}$ таркиб ёфтааст. Муайян намоед, ки баъди сипарӣ шудани ду даври лаппиш шиддати рӯяҳои конденсатори заряднок чанд маротиб кам мегардад.

$$(n = \frac{U_0}{U} = e^{2\pi\theta} = 1,286)$$

5.17. Судмандии контур $Q = 2$ мебошад. Басомади лаппишҳои ҳомӯшшаванда чанд фоизи басомади хусусии контурро ташкил медиҳад?

$$(x = \frac{\omega - \omega_0}{\omega_0} \cdot 100\% = \left(1 - \frac{2Q}{\sqrt{1 + 4Q^2}}\right) \cdot 100\% = 3\%)$$

5.18. Контури лаппиш аз конденсатори гунҷоишаш $\tilde{N} = 0,2 \text{ мкФ}$, ғалтаки индуктивияташ $L = 0,5 \text{ мХн}$ ва муқовимати $R = 10 \text{ Ом}$ таркиб ёфтааст. Дар тӯли чанд вақт шиддати байни рӯяҳои коенденсатор $n = 5$ маротиб кам мешавад?

$$(t = 1,61 \cdot 10^{-4} \text{ н})$$

5.19. Контуре лаппиш аз конденсатори гунҷоишаш $C = 7 \text{ мкФ}$ ғалтаки индуктивияташ $L = 0,23 \text{ мХи}$ ва муковимати $R = 40 \text{ Ом}$ таркиб ёфтааст. Рӯяхи конденсаторро ба кадри $q_m = 0,56 \text{ мкКл}$ заряднок кардаанд. Даври лаппишҳо ва қонуни тағйироти шиддати байни рӯяхоро мукаррар намоед.

$$(T = 2\pi\sqrt{LC} = 8 \text{ мс}; U = 80e^{-87t} \cos 250\pi t)$$

5.20. Дар тӯли чанд вақт амплитудай лаппишҳо дар контуре аз ғалтаки индуктивияташ $L = 40 \text{ мХи}$ ва конденсатори гунҷоишаш $C = 4,8 \text{ мкФ}$ ташкил ёфта ба кадри 2 маротиб кам мешавад?

$$(T = 18,5 \text{ мс})$$

5.21. Басомади лаппишҳои хомӯшшаванда $\omega = 65 \text{ рад/с}$ аст. Агар судмандии контур $Q = 2$ бошад, басомади хусусии контурро ёбед.

$$(\omega_0 = \omega \sqrt{1 + \frac{1}{Q^2}} = 72,7 \text{ рад/с})$$

5.22. Тӯли вақтеро муайян намоед, ки амплитудай лаппишҳои хомӯшшавандаи басомадаш $\nu = 1 \text{ кХс}$ дар контуре судмандиаш $Q = 3,14$, кадри $n = 4$ маротиб кам мешавад.

$$(t = \frac{2Q}{\omega} \ln n = 1,4 \text{ мс})$$

5.23. Ғалтаки индуктивии дарозияш $l = 25 \text{ см}$, радиусаш $r = 2 \text{ см}$ аз $N = 1000$ печай сими мисин ($\rho = 1,75 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$) - и масоҳати буришгоҳи арзиаш $S = 1,0 \text{ мм}^2$ таркиб ёфтааст. Ғалтак ба занҷири ҷараёни тағйирёбандаи басомадаш саноатӣ васл мебошад. Муковиматҳои фаёл R ва индуктивӣ R_L кадом ҳиссаи муковимати пурра Z - ро ташкил медиҳанд?

$$(\frac{R}{Z} \cdot 100\% = 77,8\%; \frac{R_L}{Z} = 22,2\%)$$

5.24. Ду конденсатори гунҷоишашон $C_1 = 0,6 \text{ мкФ}$ ва $C_2 = 0,2 \text{ мкФ}$ - и пай дар пай васлбуда ба занҷири ҷараёни тағйирёбандаи шиддаташ $U = 220 \text{ В}$ ва басомадаш $\nu = 50 \text{ Хс}$ пайвастанд. Қувваи ҷараёни занҷир I ва афтиши шиддат дар конденсаторҳо ёфта шавад.

$$(I = \frac{2\pi\nu U(C_1 + C_2)}{C_1 C_2} \approx 13,84 \text{ мА}; U_{C1} = 73 \text{ В}; U_{C2} = 147 \text{ В})$$

5.25. Ба занчири чараёни тағйирёбандаи шиддаташ $U = 220 \text{ В}$ муковимати фаъл, конденсатор ва ғалтаки индуктивӣ пай дар пай васланд. Агар афтиши шиддат дар конденсатор назар ба афтиши шиддат дар муковимати фаъл 2 маротиб ($U_C = 2U_R$) ва дар ғалтак 3 маротиб ($U_L = 3U_R$) зиёд бошад, афтиши шиддат дар муковимати фаъл ёфта шавад.

$$(U_R = \frac{U}{\sqrt{2}} = 156 \text{ В})$$

5.26. Контури қабул аз ғалтаки индуктивияташ $L = 2 \text{ мҲн}$ ва конденсатори гунҷоишаш $C = 1800 \text{ нФ}$ таркиб ёфтааст. Контур ба кадом дарозии мавҷ чӯр мебошад?

$$(\lambda = 2\pi c \sqrt{LC} = 113 \text{ м})$$

5.27. Контури лаппиш аз ғалтаки индуктивияташ $L = 20 \text{ мкҲн}$ ва конденсатори ҳамвори масоҳати рӯяҳояш $S = 0,04 \text{ м}^2$, ки фосилаи байнашон $d = 1,0 \text{ мм}$ мебошад, ташкил ёфтааст. Агар контур ба дарозии мавҷи $\lambda = 385 \text{ м}$ чӯр бошад, нуфузпазирии диэлектрикии байни рӯяҳои конденсатор ε муайян карда шавад.

$$(\varepsilon = \frac{\lambda^2}{4\pi^2 C^2 \varepsilon_0 SL} = 5,89)$$

ФОРМУЛАҲОИ АСОСӢ

Қонуни бақои заряд:

$$q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_N = \sum_{i=1}^N q_i = \text{const}.$$

Қонуни Кулон:

$$F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2}; \quad F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2}.$$

Шаидияти майдони электрӣ:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}.$$

Шаидияти майдони электрии заряди нуқтавӣ:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q|}{r^2}.$$

Қувваи электрӣ:

$$\vec{F} = q\vec{E}.$$

Принсипи суперпозитсияи майдонҳо:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_N = \sum_{i=1}^N \vec{E}_i.$$

Шаидияти майдони диполи электрӣ дар меҳвараш:

$$\vec{E}_c = k \frac{2\vec{p}_c}{r^3} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2\vec{p}_c}{r^3}.$$

Сели шаидияти майдони электрӣ:

$$\Phi_e = E S \cos \alpha.$$

Теоремаи Гаусс:

$$\Phi_e = \oint_S \vec{E}_n dS = \oint_S E dS \cos \alpha = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_{i=1}^N q_i.$$

Шаидияти майдони зарядҳои дар ҳамвори беохир мунтазам бо зичии сатҳии $\sigma = q/S$ (Кл/м^2) тақсимшуда:

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}.$$

Шаидияти майдони ду ҳамвори беохири параллелии мунтазам, вале гуногунчӣ заряднок:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}.$$

Шаидияти майдони нокили шаклаш силиндри борику дароз (сим) - и мунтазам бо зичии хаттӣ $\lambda = q/l$ (Кл/м) заряднок (l - дарозии нокил, q - заряди он):

$$E = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \frac{\lambda}{r}.$$

Шаидияти майдони сатҳи сферавии радиусаш R -и мунтазам заряднок:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2}.$$

Шаидияти майдони кураи мунтазам бо зичии ҳаҷмӣ $\tau = q/V$ ($Kл/м^3$) заряднок:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{R^3} r; (r > R);$$

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{R^3} r (r \leq R).$$

Сиркулятсияи вектори шаидият:

$$\oint_L E_i dl.$$

Энергияи потенциалии ҳамтаъсирот (таъсироти мутақобила) - и ду заряди нуктавӣ:

$$W_p = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq_0}{r}.$$

Потенсиали нуктаи майдон:

$$\varphi = W_p / q_0.$$

Потенсиали майдони заряди нуктавӣ:

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r}.$$

Потенсиали нуктаи маълуми майдони системаи зарядҳои нуктавӣ:

$$\varphi = \sum_{i=1}^N \varphi_i = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^N \frac{q_i}{r_i}.$$

Фарқи потенциалҳои ду нуктаи майдон:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A}{q_0}.$$

Таносуби байни шаидият ва потенциал:

$$\vec{E} = -\text{grad}\varphi.$$

Таносуби байни шаидияти байни ду нуктаи масофаи байнашон d дар майдони якҷинса:

$$E = -\frac{\Delta\varphi}{d} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d} = \frac{U}{d};$$

$$U = Ed.$$

Фарқи потенциалҳои ду нуктаи майдони ҳанвори беохири мунтазам заряднок:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{|\sigma|}{2\epsilon_0} (r_2 - r_1).$$

Фарки потенциалҳои майдони ду ҳамвори беохири параллелии мунтазам, вале гуногунчине заряднок:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{\sigma}{\epsilon_0} (r_2 - r_1) = \frac{q}{\epsilon_0 S} d.$$

Фарки потенциалҳои ду нуқтаи майдони сатҳи сферавии мунтазам заряднок:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right).$$

Фарки потенциалҳои ду нуқтаи майдони силиндри борики беохир (сим) - и мунтазам заряднок:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{r_2}{r_1}.$$

Нуфузпазирии нисбии диэлектрикии модда:

$$\epsilon = \frac{F_0}{F} = \frac{E_0}{E}.$$

Теоремаи Гаусс барои вектори индуксияи электрӣ:

$$\oint_S D_n dS = \sum_{i=1}^n q_{iO_{\text{зода}}} = q_{O_{\text{зода}}}.$$

Ҳангоми электрии ноқили танҳо:

$$C = \frac{q}{\varphi}.$$

Ҳангоми электрии ноқили сферашакл:

$$C = 4\pi\epsilon_0\epsilon R.$$

Ҳангоми ҳаргуна конденсатор:

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} = \frac{q}{U}.$$

Ҳангоми конденсатори ҳамвор:

$$C = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d}.$$

Ҳангоми конденсатори сферавӣ:

$$C = \frac{4\pi\epsilon_0\epsilon R_1 R_2}{R_2 - R_1}.$$

Ҳангоми конденсатори силиндрий:

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon l}{\ln(R_2/R_1)}.$$

Ҳангоми умумӣ ҳангоми пайвасти параллелии якчанд конденсаторҳо:

$$C_{\text{ум}} = C_1 + C_2 + \dots + C_N = \sum_{i=1}^n C_i;$$

$$C_{\text{ум}} = NC \quad (C_1 = C_2 = \dots = C_N = C).$$

Ғунҷоиши умумӣ ҳангоми пайвасти пай дар пайи якчанд конденсаторҳо:

$$\frac{1}{C_{\text{ум}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_N};$$

$$C_{\text{ум}} = \frac{C}{N} \quad (C_1 = C_2 = \dots = C_N = C)$$

Энергияи системаи зарядҳои нуктавӣ:

$$W = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N q_i \varphi_i.$$

Энергияи ноқили заряднок:

$$W = \frac{1}{2} q \varphi = \frac{1}{2} C \varphi^2 = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C}.$$

Энергияи майдони электростатикӣ:

$$W = \frac{1}{2} \varepsilon \varepsilon_0 E^2 V.$$

Зичии ҳаҷмии энергияи майдони электростатикӣ:

$$w_E = \frac{1}{2} \varepsilon \varepsilon_0 E^2.$$

Қувваи ҷараён:

$$I = \frac{dq}{dt}.$$

Зичии ҷараён:

$$j = \frac{dI}{dS_{\perp}}.$$

Ҳаракатмандии зарраи заряднок:

$$b = \frac{\langle \mathcal{Q} \rangle}{E}.$$

Қувваи электроҳаракатдиханда (ҚЭХ)-и манбаъ:

$$\varepsilon = \frac{A_{\text{тв}}}{q};$$

$$\varepsilon = \oint_L \vec{E}_t^* dl = \oint_L \vec{E}^* dl \cos \alpha$$

Қонуни Ом барои қитъаи якҷинсаи занҷир:

$$I = \frac{U}{R}; \quad U = IR; \quad R = \frac{U}{I}.$$

Муқовимати ноқили дарозиаш l , масоҳати бурришгоҳи арзиаш S :

$$R = \rho \frac{l}{S}.$$

Вобастагии муқовимати ҳос ба температураи ноқил:

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha t).$$

Вобастагии муқовимати ноқил ба температура:

$$R = R_0(1 + \alpha t).$$

Шиддат:

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 \pm \mathcal{E}_{1,2}.$$

Қонуни Ом барои китъаи гайриякчинсаи занчир:

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 \pm \mathcal{E}_{1,2}}{R_{1,2}}.$$

Қонуни Ом барои занчири пурра (сарбаст):

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}.$$

Чараёни расиши кўтоҳ:

$$I_{\max} = \frac{\mathcal{E}}{r}.$$

Қоидаи якҷуми Кирхгоф:

$$\sum_{k=1}^N I_k = 0.$$

Қоидаи дуҷуми Кирхгоф:

$$\sum_{k=1}^n I_k R_k = \sum_{i=1}^N \mathcal{E}_i.$$

Пайвасти пай дар пайи резисторҳо:

$$R_{\text{y.m.}} = R_1 + R_2 + \dots + R_N = \sum_{k=1}^N R_k.$$

Пайвасти параллелии резисторҳо:

$$\frac{1}{R_{\text{y.m.}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_N}.$$

Вобастагии нокилоти хоси нимноқилҳо ба температура:

$$\gamma = \gamma_0 e^{\frac{W_{\text{с.з.}}}{kT}}.$$

Қувви амперӣ:

$$dF = B I dl \sin \alpha;$$

$$d\vec{F} = I [d\vec{l} \times \vec{B}].$$

Индуксияи магнитӣ:

$$B = \frac{F_{\max}}{I dl}.$$

Моменти магнитии чараён:

$$p_m = IS.$$

Моменти гардишовари майдони магнитӣ:

$$M = p_m B \sin \alpha;$$

$$\vec{M} = [\vec{p}_m, \vec{B}].$$

Энергияи контури чараёндор дар майдони магнитӣ:

$$W = -p_m B \cos \alpha = -\vec{p}_m \cdot \vec{B}.$$

Қонуни Био-Савар-Лаплас:

$$dB = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{Idl \sin \alpha}{r^2}; \quad d\vec{B} = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{I[d\vec{l} \vec{r}]}{r^3}.$$

Таносуби байни векторҳои $\vec{H}$ ва $\vec{B}$:

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu\mu_0}; \quad \vec{B} = \mu\mu_0 \vec{H}.$$

Қонуни Био-Савар-Лаплас барои шадидият:

$$dH = \frac{Idl \sin \alpha}{4\pi r^2}; \quad d\vec{H} = \frac{I[d\vec{l} \vec{r}]}{4\pi r^3}.$$

Индуксияи майдони магнитии чараёни дойиравӣ дар марказаш:

$$B = \mu\mu_0 \frac{I}{2R},$$

шадидияти ин майдон:

$$H = \frac{I}{2R}; \quad H = \frac{NI}{2R}.$$

Индуксияи майдони магнитии чараёни дойиравӣ дар меҳвари чараён:

$$B = \mu\mu_0 \frac{I}{2R \sqrt{\left(1 + \frac{x^2}{R^2}\right)^3}},$$

шадидияти ин майдон:

$$H = \frac{I}{2R \sqrt{\left(1 + \frac{x^2}{R^2}\right)^3}}.$$

Майдони магнитии чараёни ростхатта:

а) барои қитъаи нокили дарозиаш маҳдуд:

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi R} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2); \quad H = \frac{I}{4\pi R} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2),$$

б) барои чараёни ростхаттаи беохир:

$$B = \mu\mu_0 \frac{I}{2\pi R}; \quad H = \frac{I}{2\pi R}.$$

Қувваи ҳамтаъсироти чараёнҳои параллелӣ (қонуни Ампер):

$$F = \mu\mu_0 \frac{I_1 I_2 l}{2\pi d}.$$

Қувваи Лоренсӣ:

$$F = q \mathcal{B} v \sin \alpha; \quad \vec{F} = q[\vec{v} \vec{B}]$$

Формулаи Лоренс:

$$\vec{F} = q \vec{E} + q[\vec{v} \vec{B}].$$

Радиуси даврас, ки зарраи зарядноки суръаташ $\mathcal{V}$ дар майдони магнитӣ аз рӯи он гардиш мекунад:

$$R = \frac{m\mathcal{V}}{qB},$$

суръати кунҷии гардиши зарра:

$$\omega = \frac{qB}{m},$$

даври гардиши зарра:

$$T = \frac{2\pi m}{qB}.$$

Шиддат дар эффекти Холл:

$$U = R_n j B d.$$

Дойимии Холл:

$$R_n = \frac{1}{qn}.$$

Теоремаи оид ба циркулятсияи вектори индуксияи магнитӣ (қонуни чараёни пурра):

$$\oint_L \vec{B} d\vec{l} = \oint B_l dl = \mu_0 \sum_{k=1}^n I_k.$$

Майдони магнитии соленоид:

$$B = \mu_0 n I; \quad H = n I.$$

Сели магнитӣ:

$$d\Phi_B = B dS \cos \alpha = B_n dS.$$

Теоремаи Гаусс барои вектори индуксияи магнитӣ:

$$\Phi_B = \oint_S B_n dS = 0.$$

Кори кӯчондани нокил ва контури чараёндор дар майдони магнитӣ:

$$dA = Id\Phi.$$

Қонуни асосии индуксияи электромагнитӣ:

$$\mathcal{E}_{\text{индук}} = -\frac{d\Phi}{dt}; \quad \mathcal{E}_{\text{индук}} = -N \frac{d\Phi}{dt}.$$

Таносуби байни сели майдони магнитии чараён ва қувваи чараён:

$$\Phi = LI.$$

Индуктивияти соленоид:

$$L = \mu\mu_0 n^2 V.$$

Қувваи электроҳаракатдихандаи худиндуксия:

$$\mathcal{E}_S = -L \frac{dI}{dt}.$$

Қонуни тағйироти электрочараёни васлшавӣ:

$$I = I_0 \left(1 - e^{-\frac{R}{L}t} \right).$$

Қонуни тағйироти электрочараёни қатъшавӣ:

$$I = I_0 e^{-\frac{R}{L}t}.$$

Энергияи майдони магнитӣ:

$$W = \frac{1}{2} \mu \mu_0 H^2 V = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu \mu_0} V = \frac{1}{2} B H V.$$

Зичии ҳаҷмӣ энергияи майдони магнитӣ:

$$w_m = \frac{W}{V} = \frac{1}{2} \mu \mu_0 H^2 = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu \mu_0} = \frac{1}{2} B H.$$

Индуктивияти тарафайни ду ғалтаки дилакашон умумӣ:

$$L_{12} = L_{21} = \mu \mu_0 \frac{N_1 N_2}{l} S.$$

Қонуни тағйироти ҚЭХ-и индуксионӣ:

$$\mathcal{E}_i = -\frac{d\Phi}{dt} = \omega \Phi_m \sin \omega t = \mathcal{E}_m \sin \omega t; \mathcal{E}_m = \omega B S = \omega \Phi_m.$$

Фазаи чараёни тағйирёбанда:

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

Қонуни Ом барои қиматҳои амплитудавии шиддату қувваи чараёни тағйирёбанда:

$$I_m = \frac{U_m}{R_c}.$$

Муқовимати ғунҷошӣ (реактивӣ):

$$R_c = \frac{1}{\omega C}.$$

Муқовимати индуктивӣ (реактивӣ):

$$R_L = \omega L.$$

Қонунҳои тағйироти шиддат дар занҷири чараёни тағйирёбанда хангоми пайвасти пай дар пайи RLC:

$$U_R = I_m R \sin \omega t;$$

$$U_C = \frac{I_m}{C\omega} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = I_m R_c \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right);$$

$$U_L = I_m \omega L \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) = I_m R_L \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right).$$

Қонуни Ом барои чараёни тағйирёбанда:

$$I_m = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + (R_c - R_L)^2}} = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C} - \omega L\right)^2}},$$

барои қиматҳои самарабахш (эффektivӣ):

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C} - \omega L\right)^2}}.$$

Муқовимати пурраи занҷири ҷараёни тағйирёбанда:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C} - \omega L\right)^2}.$$

Фарқи фазаҳои тағйироти қувваи ҷараён ва шиддат дар занҷири ҷараёни тағйирёбанда:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{R_c - R_L}{R} = \frac{\frac{1}{\omega C} - \omega L}{R}.$$

Шарти резонанси электрӣ:

$$\omega_{\text{рез}} = \sqrt{LC}.$$

Қувваи ҷараён дар занҷири ҷараёни тағйирёбанда ҳангоми пайвасти параллелии RLC :

$$I = I_R + I_C + I_L;$$

$$U_m = I_{mR} R = \frac{I_{mC}}{\omega C} = I_{mL} \omega L;$$

$$I_m = U_m \sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{\omega L} - \omega C\right)^2};$$

$$\operatorname{tg} \varphi = R \left(\frac{1}{\omega L} - \omega C \right);$$

$$I_R = \frac{U_m}{R} \sin \omega t;$$

$$I_C = U_m \omega C \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) = \frac{U_m}{R_C} \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right);$$

$$I_L = \frac{U_m}{\omega L} \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) = \frac{U_m}{R_L} \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right).$$

Декременти ҳомӯшшавӣ:

$$\delta = \frac{q(t)}{q(t+T)} = e^{\beta T}.$$

Декременти логарифмӣ:

$$\theta = \ln \delta = \ln \frac{q(t)}{q(t+T)} = \beta T = \frac{T}{\tau} = \frac{1}{N_e}$$

Басомад ва даври лаппишҳои озоди ҳомӯшшаванда:

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}};$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}}.$$

Судмандни контур:

$$Q = \frac{\pi}{\theta} = \pi N_e.$$

Конуни кохиши кувваи чараён:

$$I = \omega_0 q_m e^{-\beta t} \left[-\frac{\beta}{\sqrt{\omega^2 + \beta^2}} \cos(\omega t + \varphi_0) - \frac{\omega}{\sqrt{\omega^2 + \beta^2}} \sin(\omega t + \varphi_0) \right].$$

$$\cos \psi = -\frac{\beta}{\sqrt{\omega^2 + \beta^2}} = -\frac{\beta}{\omega_0}; \quad \sin \psi = \frac{\omega}{\sqrt{\omega^2 + \beta^2}} = \frac{\omega}{\omega_0};$$

$$I = \omega_0 q_m e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi_0 + \psi) = I_m e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi_0 + \psi).$$

Муодилаи лаппишхон мачбурӣ:

$$\ddot{q} + 2\beta\dot{q} + \omega_0^2 q = \frac{\mathcal{E}_m}{L} \sin \omega t.$$

ҲАМЛИ ОН:

$$q_m = \frac{\mathcal{E}_m}{L\sqrt{4\beta^2\omega^2 + (\omega_0^2 - \omega^2)^2}}.$$

Конуни тағйироти кувваи чараён дар контур бо таъсири манбаи КЭХ-аш мувофиқи конуни гармоникӣ тағйирёбанда:

$$I_m = \frac{\mathcal{E}_m}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C} - \omega L\right)^2}};$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{R}{\frac{1}{\omega C} - \omega L}.$$

Майдони электрии шадидияташ E , ки бо суръати $\mathcal{G}$ паҳн мешаваду майдони магнитии индуксияаш B -ро тавлид менамояд:

$$B = \frac{\varepsilon\mu}{c^2} \mathcal{G} E \sin(\vec{\mathcal{G}}, \vec{E});$$

$$\vec{B} = \frac{\varepsilon\mu}{c^2} [\vec{\mathcal{G}}, \vec{E}].$$

Майдони магнитии индуксияаш B , ки бо суръати $\mathcal{G}$ паҳн мешаваду майдони электрии шадидияташ E -ро тавлид менамояд:

$$E = \mathcal{G} B \sin(\vec{\mathcal{G}}, \vec{B});$$

$$\vec{E} = -[\vec{\mathcal{G}} \vec{B}];$$

$$\sin(\vec{\mathcal{G}}, \vec{B}) = \sin(\vec{\mathcal{G}}, \vec{E}) = 1;$$

$$B = \frac{\varepsilon\mu}{c^2} \mathcal{E}E;$$

$$E = \mathcal{B}B.$$

Қонуни Максвелл:

$$\mathcal{E} = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon\mu}}.$$

Муодилаҳои мавҷи электромагнитӣ:

$$E_z = E_m \sin(\omega t - kx);$$

$$B_y = B_m \sin(\omega t - kx).$$

Энергияи мавҷҳои электромагнитӣ:

$$w = w_E + w_m = \frac{1}{2} \varepsilon \varepsilon_0 E^2 + \frac{1}{2} \mu \mu_0 H^2;$$

$$w = \varepsilon \varepsilon_0 E^2 = \mu \mu_0 H^2 = \sqrt{\varepsilon \varepsilon_0} E \cdot \sqrt{\varepsilon \varepsilon_0} E = \sqrt{\varepsilon \varepsilon_0} E \cdot \sqrt{\mu \mu_0} H = \frac{\sqrt{\varepsilon \mu}}{c} EH = \frac{1}{9} EH;$$

$$J = w \mathcal{E}.$$

Вектори Умову Пойтинг:

$$J = EH;$$

$$\vec{J} = [\vec{E} \vec{H}].$$

Фехрасти мафҳумҳои муҳимтарин

- Автолаппишҳо 12,33
 Адади ампер-печаҳо 163
 ——— Фарадей 107
 Ампер (воҳиди кувваи чараён)
 69,144
 ——— бар метр (воҳиди
 шадидияти майдони магнитӣ) 139
 ——— метри квадратӣ
 (воҳиди зичии чараён) 69
 ——— миллиметри
 квадратӣ (воҳиди
 гайрисистемавии зичии
 чараён) 69
 ——— $\times \text{м}^2$ (воҳиди моменти
 магнитии чараён) 136
 Ангеза (индуксия)-и электрӣ 50
 Анод 106
 Асбобҳои андозагири электрии
 системашон магнитоэлектрӣ 138
 Афканишоти ионафзо 112
 ——— рентгенӣ 246
 ——— ултрабунафш 245
 ——— хароратӣ 244
 Акрабаки магнитӣ 131
- База 123
 Басомад ва даври лаппишҳои
 хомӯшшаванда 227
 Басомади резонансӣ 192
 Ба ҳам индуксия 181
 Бетатрон 213
 Боди электрӣ 45
 Борбаст 76, 91
- Васли секунҷавӣ дар чараёни
 сефаза 198
 ——— ситоравӣ ——— ———
 ——— 198
- Вақти релаксатсия 177, 227
 Вебер (воҳиди сели магнитӣ) 164
 Вектори индуксияи магнитӣ 133
 ——— магнитнокшавӣ 207
 ——— поляризатсия 49
- Умову Пойтинг 241
 Вибратори Хертс 238
 Волт (воҳиди потенсиал) 36
 ——— бар метр (воҳиди
 шадидияти майдони электрӣ)
 19
 Волтметр 36
- Галванопластика 110
 Галваностегия 110
 Гамма-афканишот (гамма-
 шуоҳо) 246
 Гашти бевунёд (холӣ)-и
 Трансформатор 202
 Генератори электростатикӣ 45
 Генрӣ (хенрӣ, воҳиди
 индуктивият) 175
 Гиреҳи занҷир 93
 Градиенти потенциал 39
- Даври чараёни
 тағйирёбанда 185
 Датчик (бозгиранда)-и
 Ҳолл 156
 Декременти логарифмӣ 227
 ——— хомӯшшавӣ 227
 Диамагнетикҳо 204
 Диоди нимноқилӣ 121
 Диполи электрӣ 20
 Диссотсатсияи электролитӣ 105
 Дизэлектрикҳо 68
 Доӣмӣи Ҳолл 155
 ——— электрӣ 14
 Доменҳо 50, 208
 Дуантҳо 158
- Зарраҳои нейтралӣ 10
 Заряд 6
 Заряди нуктавӣ 12
 ——— элементарӣ (бунёдӣ) 10
 Зарядҳои баста (алоқаманд) 46
 ——— индуксионӣ 9
 Зичии иқтидор 101

- сели энергия 241
- ҳаҷмии энергия 64, 179
- ҷараён 69
- ҷараёни сершуда 114
- Изоляторҳо** 68
- Изотоп** 158
- Импеданс** 191
- Индуктивият дар занчири ҷараёни тағйирёбанда** 188
- Индуктивияти контур** 175
 - тарафайн 181
- Индуксияи тарафайн** 180
- Инжексия** 123
- Интенсивияти ионизатор** 113
 - мавҷ 241
- Ионизатсия** 112
- Иктидор (тавоноӣ)-и пурраи манбаъ** 91
- Иктидори фойиданок** 91
- Камони электрӣ** 116
- Катод** 106
- Коллектор** 123
- Конденсатор** 54
 - дар занчири ҷараёни тағйирёбанда 187
- Конденсатори силиндрӣ** 56
 - сферавӣ 55
 - электролитӣ 55
 - ҳамвор 55
- Консентратсияи зарядҳои озод** 70
- Контури лапиш** 222
- Козфитсиенти кори фойиданоки манбаъ** 91
 - температуравии муковимат 75
 - трансформатсия 202
- Лапишҳои барқароршуда** 230
 - озоди бардавом (хомӯшнашаванда) 224
 - хомӯшшаванда 227
 - электромагнитӣ 224
- Мавҷҳои радио** 244
- Магнетик** 204
- Магнит** 131
- Магнитнокшавии бокимонда** 209
- Магнитостриксия** 210
- Майдони гирдбодӣ (тӯфонӣ)** 212
 - (индуксионӣ)-и Электрӣ 212
 - магнитии ҷараёни дойиравӣ дар марказаш 139
 - ————— ростхатта 142
 - ягонаи электромагнитӣ 217, 236
 - якчинсаи электростатикӣ 27
- Майли магнитӣ** 131
- Манбаии ҷараён** 72
- Масс-спектрометр** 156
- Меҳвари дипол** 21
- Микрофарад** 54
- Микдори электр** 6
- Моддаҳои зӯрмагнитӣ** 204, 208
 - сузмагнитӣ 204
- Моменти дипол** 21
 - магнитии ҷараён 136
 - магнитӣ (хусусӣ)-и электрон 205
- Муайян кардани муковимат бо усули Уитстон** 97
- Муодилаи дуҷуми Максвелл** 216
 - лапишҳои маҷбурӣ 230
 - озоди хомӯшшаванда 227
 - сеҷуми Максвелл 216
 - трансформатор 202
 - ҷоруми Максвелл 216
 - яҷуми Максвелл 214
 - қонуни Ом барои электролитҳо 109
- Муковимати индуктивӣ** 189
 - ҳос 74
 - электрӣ 74
 - ғунҷоишӣ 188
- Муҳофизакҳо** 77

Мухофизати электростатикӣ 44

Назарияи классикии

Электронӣ 43, 102

—— электромагнитии

табиати рӯшноӣ 217

Намуди дифференсиалии

қонуни Ом 100

—— ———— Ҷоулу

Ленс 104

—— интегралҳои қонуни

Ом 100

Нанофарад 54

Нарммагнит 209

Нимноқилҳо

Нисбати гиромангитӣ 205

Ноқилият 74

Ноқилияти ҳос 100

Ноқилҳо 68

Ноқилҳои сифрӣ 198, 200

—— фазавӣ 198

Ноқилияти ионӣ 106

—— махлути нимноқилҳо 121

—— n – тип 121

—— p – тип 121

—— хусусии нимноқилҳо 120

Ноқилҳои чинси I 43

—— ———— II 43, 105

Нуфузпазирии нисбии магнитии

муҳит 203

—— ———— электрии муҳит 14

Нуктаи Кюри 51

—— ———— барои

ферромагнетикҳо 210

Ом (воҳиди муковимат) 74

Ом-м (воҳиди муковимати ҳос) 74

Омехтаҳои аксепторӣ 121

—— донорӣ 121

Пазируфти диэлектрикии

модда 49

—— магнитӣ 207

Пайвасти омехтаи

конденсаторҳо 58

—— пай дар пай

конденсаторҳо 57

—— ———— манбаҳои ҷараён 96

—— ———— резисторҳо 95

—— параллелии

конденсаторҳо 57

—— ———— манбаҳои ҷараён

96

—— ———— резисторҳо 95

Парамагнетикҳо 204

$p - n$ гузариш 121

Печаҳои аввала 201

—— дуҷумӣ 201

Пикофарад 54

Плазмаи

Плазмаи баландҳарорат 118

—— пастҳарорат 118

Поляризация

(кутбнокшавӣ) 48

Поляризацияи боқимонда 51

—— худ аз худ (спонтанӣ) 50

Потенсиали майдони заряди

нуқтавӣ 36

—— нуқтаи майдон 36

—— ———— майдони системаи

Зарядҳо 36

Принципи синхронизация 159

—— суперпозитсия

(замшуд)-имайдонҳо 20

Прессия 206

Протон 158

Рангҳои бунафш 245

—— зард 245

—— кабуд 245

—— нилобӣ 245

—— норинҷӣ 245

—— сабз 245

—— сурх 245

Расиши кӯтоҳ 77

Рафинатсия 109

Реаксияи барқароршавӣ 106

—— оксидшавӣ 106

Резистор 95

— дар занчири чараёни
тағйирёбанда 186
Резонанси параллелӣ 193
— шиддатҳо 192
— электрӣ 232
— чараёнҳо 193
Резонатор 239
Реохорд 97
Робитаи баръакси
индуктивӣ 234
Ростгардон (выпрямитель) 122
Ротор 183
Рӯшноии намоён 245

Сарбастагии хатҳои магнитӣ 132
Сатҳҳои эквипотенсиалӣ 39
Сегнетоэлектрикҳо 50
Селектори суръатҳо 157
Сели магнитӣ 164
— шадидият 27
Сиклотрон 158
Силиндри Фарадей 157
Сименс (воҳиди нокилият) 74
Синхросиклотрон 160
Синхротрон 160
Синхрофазотрон 160
Сиркулятсияи вектори
индуксияи магнитӣ 161
— шадидият 35
Скин-эффекти магнитӣ 186
— электрӣ 185
Солват 108
Соленоид 162
Спин 205
Статор 183
Судмандӣ 228
Суръатфизоҳо 158
Суръатфизоҳои хаттӣ 158
— сиклӣ 158

Тавсифоти волтампери
тахлия 158
Тахлия 112
Тахлияи лаҳҷавӣ 117
— муствақил 114
— номустақил 114

— тоҷӣ 116
— шарораӣ 116
Таквиятдиҳанда
(куватфизо) 123
Таҷрибаҳои Эрстед 131
Температураи гузариш 75
— ионӣ 118
— электронӣ 118
Теоремаи Гаусс оид ба
сиркулятсияи векторӣ
индуксияи магнитӣ 164
— Остроградский-Гаусс 28
Термометрҳои муковиматӣ 75
Тесла (воҳиди индуксияи
магнитӣ) 135
Ториқи катодӣ 117
Тороид 163
Трансформаторҳо 201
Трансформаторҳои
баландшиддат 202
— пастшиддат 202

Фавқунокилият 75
Фаза 198
Фазаи чараёни
тағйирёбанда 185
Фазотрон 160
Фарад (воҳиди гуноҷоиши
электрӣ) 53
Фарқи потенсиалҳои
ду нуқтаи майдон 37
— майдони кураи
ҳаҷман мунтазам
заряднок 43
— сатҳи
сферавии мунтазам
заряднок 42

— силиндри беохир
(сим) – и мунтазам
заряднок 43

— ҳамвории беохир
мунтазам заряднок 41
Ферритҳо 210
Ферромагнетикҳо 204, 208

Ферроэлектрикҳо 50
Формулаи Лоренс 150
—— Томсон 224
—— кувваи амперӣ 134

Хатҳои магнитӣ 132
—— шадиият 26
—— куввагӣ 26, 132
Худиндуксия 175

Чароғҳои квартсӣ 117
—— рӯз 118
Чип 123

Шадиияти майдони ду
хамвориҳои беохири
параллели мунтазам,
вале гуногунҷинс
заряднок 30
—— зарядҳои дар
хамвориҳои беохир мунтазам
таксимшуда 30
—— магнитӣ 139
—— электрии нокили
шаклаш силиндрӣ
борику дароз (сим)-и
мунтазам заряднок 31
—— кураи мунтазам
заряднок 32
—— электрӣ 19
—— сатҳи сферавӣ
мунтазам заряднок 31

Шарти резонансӣ 232
Шиддат 73
Шиддати рахнавӣ 56, 114
—— рахнашавӣ
конденсатор 56
—— ҳатӣ 199
—— фазаӣ 199
Шуоҳои инфрасурх 244

Эквиваленти кимёвӣ
модда 107
Эквиваленти электрокимёвӣ
модда 106

Экстрачараҳои васлшавӣ 178
—— қатъшавӣ 178
Электретҳо 51
Электришавӣ 6
Электронқашавӣ 6
Электродинамика 20
Электродҳо 106
Электролиз 106
Электролитҳо 43, 68, 105
Электромметр 9
Электрон 5, 8
Электрон-волт 37
Электронҳои валентӣ 10
Электроскоп 9
Электрӣ 5
Элемент (чузъ)-и чараён 134
Эмиссияи термоэлектронӣ 117
Эмиттер 123
Энергияи активатсияи атом 119
—— ионизатсия 113
—— конденсатори
заряднок 62
—— майдони
электростатикӣ 63
—— нокили заряднок 62
—— системаи зарядҳои
нуктавӣ 61
—— ҳамтаъсироти ду заряди
нуктавӣ 36, 61
Эффекти диамагнитӣ 206
—— пийезоэлектрӣ 52
—— транзисторӣ 122
—— Ҳолл 155

Ядро 10, 204

Ғалтаки индуктивӣ 175
Ғунҷоиши электрии нокил 52
—— электрӣ
(электроғунҷоиш) 52
Қабати бандқунанда
(мамнӯъ) 122
Қимати амплитудаӣ
(зиёдтарини)-и заряди
рӯяҳои конденсатор 188
—— сели магнитӣ 183

————— кувваи чараён 185
 ————— КЭХ 184
 Қиматҳои самарабахши
 (эффektivӣ)-и шиддату
 кувваи чараёни
 тағйирёбанда 196
 Қойидаи дасти рост 134
 ————— чап 135
 ————— дуҷоми Кирхгоф 94
 ————— Ленс 172
 ————— яҷоми Кирхгоф 93
 Қонуни Ампер 134
 ————— асосии индуксияи
 электромагнитӣ 172
 ————— бақои заряд 11
 ————— Био-Савар-Лаплас 138
 ————— Видеману Франс 104
 ————— дуҷоми Фарадей оид ба
 Электролиз 107
 ————— яҷоми Фарадей оид ба
 электролиз 106
 ————— Кюри 208
 ————— Максвелл 237
 ————— Ом дар намуди
 дифференсиалӣ 99
 ————— Ом барои қиматҳои
 амплитудавии шиддату
 кувваи чараёни
 тағйирёбанда 188, 189, 191
 ————— занҷири пурра
 (сарбаст) 76
 —————
 ————— электролитҳо 109
 ————— китъаи
 яҷинсаи занҷир 76
 ————— чараёни
 гайрияҷинсаи занҷир 106

————— чараёни
 ————— пурра 161
 ————— Ҷоулу Ленс 91
 Кувваи амперӣ 132
 ————— коэрситивӣ 51, 209
 ————— электрӣ 20
 Кувватфизо
 (таквиятдиҳанда) 123
 КЭХ-и манбаъии чараён 73
 ————— худиндуксия 175
 Кутбнамо-компас 131
 Кутбҳои магнитӣ 131
 ————— шимолию ҷанубии
 магнитӣ 131

Ҳалқаи гистерезис
 (хистерезис) 51, 209
 Ҳаракатмандии зарраи
 Заряднок 69
 ————— ион 109
 Ҳенри (генри, воҳиди
 индуктивият) 115
 Ҳодисаҳои
 магнитомеханикӣ 205

Ҷамъбасти пурраи муодилаҳои
 Максвелл 216
 Ҷараёни доимӣ 69
 ————— кӯчишӣ 214
 ————— пурра 161
 ————— рост 122
 ————— сефаза 197
 ————— электрӣ 68
 Ҷараёнҳои гирдобӣ 212
 ————— квазистатсionarӣ 186
 ————— Фуко 185

1. С.Э.Фриш ва А.В.Тиморева. Курси физикаи умумӣ. «Нашриёти давлатии тоҷик», Душанбе, с.1961, 606 сах.
2. Қ.Комилов, С.Н.Ниёзов, М.Қ.Қурбоналиев. Электростатика ва ҷараёни доимӣ. «УДТ», Душанбе. 1985, 105 сах.
3. Дастури методӣ барои омӯхтани курси электрорадиотехника ва элементҳои техникаи бехатарӣ дар қорҳои лабораторӣ (Муратғибон Сабзали Мисров ва Ҷалил Рашидов), Душанбе. с.1986.
4. Ҳ.Саъдуллозода. Асосҳои электродинамика. «Донишгоҳи кишоварзии Тоҷикистон». Душанбе, с.1997, 227 сах.
5. М.Сайдуллоева. Электродинамика. «Маориф», с.2000, 225 с.
6. М.Ҷамолов, С.Н.Каримов, Ф.Қ.Раҳимов. Курси физикаи умумӣ. Ҳодисаҳои электромагнитӣ. «ДДМТ», Душанбе, с.2003, 348 сах.
7. Ҳ.Маҷидов. Асосҳои электродинамика. Оптика ва физикаи атомӣ. «Эр-граф», Душанбе, с.2007. 425 сах.
8. Қорҳои лабораторӣ аз электр ва магнетизм (муратғибон Ҳ.Саъдуллозода, Д.Ақдодов). «ДМТ», Душанбе, с.2007. 157 сах.
9. Н.В.Кашин. Курс физики т. II. «Высшая школа», Москва, с. 1963, 643 сах.
10. Г.Е.Зильберман. Электричество и магнетизм «Наука», Москва, с.1970, 385 сах.
11. Р.В.Телеснин и В.Ф.Яковлев. Курс физики. Электричество. «Просвещение», Москва, с.1970, 487 сах.
12. Берклевский курс физики. Электричество и магнетизм (Э.Парселл).»Наука», 1975, 440 сах.
13. С.Г.Калашников. Электричество. «Наука», Москва, с.1977, 591 сах.
14. Д.В.Сивухин. Курс общей физики. т.III. Электричество. «Наука», с. 1977, 687 сах.
15. Р.Г.Геворкян. Курс физики. «Высшая школа», Москва, 1979, 656 сах.
16. А.Г.Чертов, А.А.Воробьев. Задачник по физике. «Высшая школа», Москва, с.1981, 495 сах.
17. А.Н. Матвеев. Электричество и магнетизм. «Наука». Москва, с.1983, 463 сах.
18. В.С.Волькенштейн. Сборник задач по общему курсу физики. «Наука», Москва, с.1985, 352 сах.
19. Элементарный учебник физики т.II. Под ред. акад. Г.С.Ландсберга. «Наука», Москва, 1986, 480 сах.
20. А.А.Детлаф, Б.М. Яворский. Курс физики. «Высшая школа», Москва, С.1989, 608 сах.
21. Д.Джанколи. Физика. т. II. «Мир», Москва, с.1989, 668 сах.

22. А.П.Рымкевич. Маҷмӯаи масъалаҳо аз физика. «Маориф», Душанбе, с.1989, 175 сах.
23. R.A. Serway. Physics. Philadelphia Fort Worth Chicago San Francisco, 1996, 1442 p.
24. Т.И.Трофимова, З.Г.Павлова. Сборник задач по курсу физики с решениями. «Высшая школа». Москва, с.1999, 591 сах.
25. С.В.Громов. Физика, 10. «Просвещение», Москва, с. 2003, 383 сах.
26. В.А. Касьянов. Физика, 11. «Дрофа», Москва, с.2004, 414 сах.
27. И.В.Савельев. Курс физики. т.2. «Астрель» АСТ, Москва, с.2005.
28. Т.И.Трофимова. Курс физики. Издательский центр «Академия», Москва, с.2007, 558 сах.
29. Курс физики т.1. Под ред. проф В.Н.Лозовского. «Лань», Санкт-Петербург- Москва- Краснодар, с.2007, 572 сах.

МУНДАРИҶА

Пешгуфтор.....	3
Мукаддима.....	5
БОБИ 1. Электростатика.....	9
§1.1. Электришавӣ. Қонуни бақои заряд.....	9
§1.2. Қонуни Кулон.....	12
§1.3. Майдони электрӣ. Шадиияти майдони электрӣ.....	18
§1.4. Принципи суперпозитсияи майдонҳо. Майдони диполи электрӣ.....	20
§1.5. Хатҳои шадиият. Сели вектори шадиияти майдони электрӣ.....	26
§1.6. Теоремаи Гаусс ва татбиқҳои амалии он.....	28
§1.7. Қори кӯчондани заряд дар майдони электростатикӣ.....	33
§1.8. Потенциал. Фарқи потенциалҳо.....	35
§1.9. Таносуби байни потенциал ва шадиият.....	38
§1.10. Ҳисоб кардани фарқи потенциалҳо ба воситаи шадиият.....	41
§1.11. Ноқилҳо дар майдони электрӣ.....	43
§1.12. Диэлектрикҳо дар майдони электрӣ.....	46
§1.13. Сегнетоэлектрикҳо. Эфекти пьезоэлектрӣ.....	50
§1.14. Ғунҷоиши электрӣ.....	52
§1.15. Конденсаторҳо.....	54
§1.16. Пайвасти конденсаторҳо.....	57
§1.17. Энергияи майдони электростатикӣ.....	60
Машки 1.....	65
БОБИ 2. Қонунҳои ҷараёни доимӣ.....	68
§2.1. Ҷараёни электрӣ. Қувваи ҷараён. Зичии ҷараён.....	68
§2.2. Манбаъҳои ҷараён. Қувваи электроҳаракатдиҳандаи Манбаи ҷараён. Шиддат.....	72
§2.3. Қонунҳои Ом.....	73
§2.4. Қор ва иқтидори ҷараён. Қонуни Ҷоулу Ленс.....	79
§2.5. Қоидаҳои Кирхгоф.....	81
§2.6. Намуди дифференциалии қонунҳои Ом ва Ҷоулу Ленс.....	87
§2.7. Назарияи классикии электронӣ.....	89
§2.8. Ҷараёни электрӣ дар моеъҳо.....	93
§2.9. Ҷараёни электрӣ дар газҳо.....	99
§2.10. Ҷараёни электрӣ дар нимоқилҳо.....	107
§2.11. Хатарҳои ҷараёни электрӣ.....	111
Машки 2.....	113

БОБИ 3. Майдонҳои магнитӣ.....	119
§3.1. Ҳодисаҳои магнитӣ.....	119
§ 3.2 Қувваи амперӣ.....	122
§3.3 Таъсири майдони магнитӣ ба контури ҷараёндор.....	124
§ 3.4. Қонуни Био-Савар-Лаплас.....	126
§3.5 Ҳамтаъсири ҷараёнҳои параллелӣ.....	131
§3.6. Қувваи лоренсӣ.....	137
§3.7. Ҳаракати зарраҳои заряднок дар майдони якҷинсаи электрӣ.....	138
§3.8.Ҳаракати зарраҳои заряднок дар майдони якҷинсаи магнитӣ.....	141
§3.9. Эффеќти Ҳолл.....	143
§3.10. Масс-спектрометр.....	144
§3.11. Суръатфизоҳои зарраҳои заряднок.....	146
§3.12 Теоремаи оид ба сиркулятсияи вектори индуксияи магнитӣ.....	149
§ 3.13.Сели магнитӣ. Теоремаи Гаусс барои вектори индуксия.....	152
§3.14. Кори кӯчондани ноќил ва контури ҷараёндор дар майдони магнитӣ.....	154
Машқи 3.....	155
 БОБИ 4. Ҳодисаҳои электромагнитӣ ва қонунҳои ҷараёни тағйирёбанда.....	159
§4.1. Таҷрибаҳои Фарадей. Индуксияи электромагнитӣ.....	159
§4.2 Ҳодисаи худиндуксия. Индуктивият.....	163
§4.3. Энергияи майдони магнитӣ.....	166
§4.4. Индуксияи тарафайн.....	168
§4.5. Ҷараёни тағйирёбанда.....	171
§4.6. Ҷараёнҳои Фуко.....	173
§4.7. Занҷирҳои ҷараёни тағйирёбанда.....	174
§4.8. Қонуни Ом барои ҷараёни тағйирёбанда.....	178
§4.9. Иктидоре, ки дар занҷири ҷараёни тағйирёбанда вусъат дода мешавад.....	183
§4.10. Ҷараёни сефаза.....	185
§4.11. Трансформаторҳо.....	188
§4.12. Хосиятҳои магнитии моддаҳо.....	191
§ 4.13.Муодилаҳои Максвелл.....	200
§4.14.Ҷамъбасти пурраи муодилаҳои Максвелл.Майдони электромагнитӣ.....	204
Машқи 4.....	206
 БОБИ 5. Лаппиш ва мавҷҳои электромагнитӣ.....	210
§5.1. Лаппишҳои озоди бардавоми электромагнитӣ.....	210
§5.2. Лаппишҳои озоди ҳомӯшшаванда.....	214
§5.3. Лаппишҳои маҷбурии электромагнитӣ.....	

Резонанси электрӣ.....	217
§5.4 Генератори лаппишҳои баландбасомади бардавом.....	221
§5.5. Паҳншавии майдони электромагнитӣ.....	222
§5.6. Ҳосил кардани мавҷҳои электромагнитӣ	
Таҷрибаҳои Ҳертс.....	225
§5.7. Энергияи мавҷҳои электромагнитӣ.	
Вектори Умову Пойтинг.....	229
§5.8. Шкалаи мавҷҳои электромагнитӣ.....	231
Машқи 5.....	235
Формулаҳои асосӣ.....	240
Феҳрасти мафҳумҳои муҳимтарин.....	251
Адабиёт.....	257

Ба матбаа 14.06.2011 супорида шуд.
Ба чопаш 06.10.2011 имзо шуд.
Коғази офсет. Андозаи 60x84 $\frac{1}{16}$.
Ќузъи чопӣ 16.5. Адади нашр 1000 нусха.
Супориши № 59

Матбааи Донишгоҳи миллии
Тоҷикистон,
кӯчаи Лоҳутӣ 2

21c