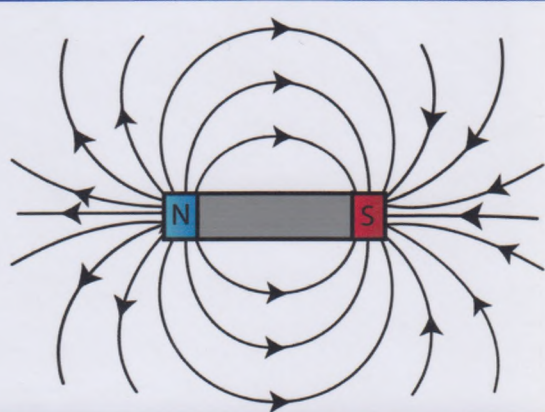
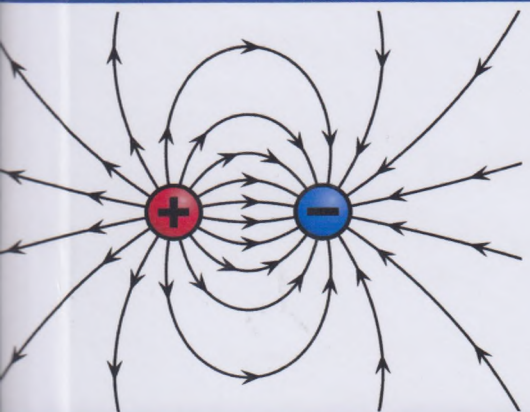
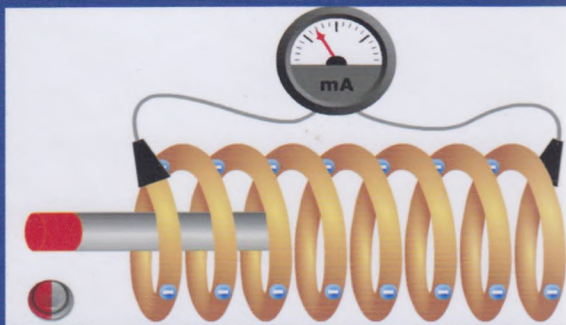
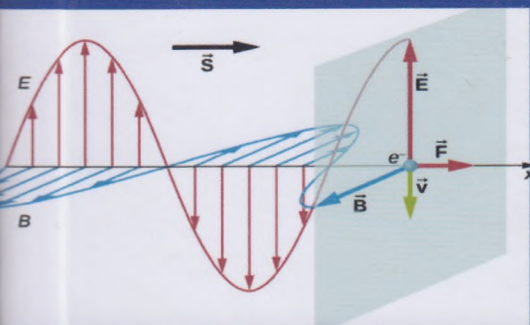


N. Mamatkulov

FIZIKA

(ELEKTR VA ELEKTROMAGNETIZM)



**ЎЗБЕКИСТОН RESPUBLIKASI OLIY
VA OʻRTA MAXSUS TAʼLIM VAZIRLIGI**

**SAMARQAND DAVLAT VETERENARIYA MEDISINASI,
CHORVACHILIK VA BIOTEXNOLOGIYALAR UNIVERSITETI**

N. Mamatkulov

F I Z I K A

(ELEKTR VA ELEKTROMAGNETIZM)

darslik

*Oliy taʼlim muassasalarining 60711400 – Texnologik
jarayonlar va ishlab chiqarishni avtomatlashtirish
va boshqarish (qishloq xoʻjaligi) talim yoʻnalishi
talabalari uchun moʻljallangan*

Toshkent - 2023
“Fan ziyosi” nashriyoti

UO'S: 221.127.12

KBK: 22.33(536)

53
M 23

M-12

Fizika (elektr va elektromagnetizm). darslik / Nuriddin Mamatkulov. – Toshkent, “Fan ziyosi” nashriyoti, 2023, - 256 bet.

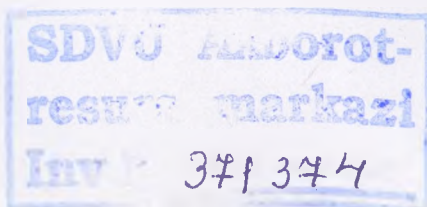
Darslik O'zbekiston Respublikasi oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi Samarqand davlat veterinariya medisinasi, chorvachilik va biotexnologiyalar universiteti tomonidan 2022 yil 30 avgustdagi buyrug'i bilan tasdiqlangan. “Fizika”(elektr va elektromagnetizm) fanining namunaviy o'quv dasturi asosida yozilgan.

60711400 - Texnologik jarayonlar va ishlab chiqarishni avtomatlashtirish va boshqarish (qishloq xo'jaligi) bakalavr ta'lim yo'nalishiga mo'ljallangan.

Muallif: Nuriddin Mamatkulov- SamDVMCHBU, Tabiiy va ilmiy fanlar kafedrası dotsenti, f.m.f.n

Taqrizchilar: N.Eshqobilov - Samarqand Davlat Universiteti professori, fizika matematika fanlari doktori,
O.Raximov - Samarqand davlat arxitektura-qurilish instituti dotsenti, fizika – matematika fanlari nomzodi.

ISBN: 978-9943-9225-5-6



© Mamatkulov N.

Аннотация

Учебник написана на основе программы «Физика»(электр и электромагнетизм) утвержденным приказом Министерства высшего и среднего специального образования Республики Узбекистан составленным Самаркандским государственным университетом ветеринарной медицины животноводства и биотехнологии от 30 август 2022 года . Учебная пособия рассчитана для студентов бакалавриата по специальностям направлений

60711400 – Автоматизация и управление технологических процессов и производство(сельское хозяйства)

Annotations

The textbook is written on the basis of the Physics program(electricity and electromagnetism) approved by the order of the Ministry of Higher and Secondary Specialized Education of the Republic of Uzbekistan drawn up by the Samarkand State veterinary medicine, animal husbandry and biotechnology University dated August 30, 2022. The textbook is designed for undergraduate students in specialties of directions

60711400 - Automation and control of technological processes and production (agriculture),

Soʻz boshi

Respublikamiz prezidenti Shavkat Mirziyoyev prezidentlik faoliyatini boshlagandan soʻng qabul qilgan koʻplab qarorlarida tijorat banklari ishtirokida taʼsis etiladigan, oʻziga maʼlum xoʻjalik zonalari birlashtiriladigan hududlarda zamonaviy avtomatlashtirilgan korxonalari tashkil etishni rejalashtirilgan edi.

Bu korxonalar faoliyatining asosiy vazifasi va yoʻnalishlari sifatida turli tarmoqlarda hozirgi zamon talablariga javob beradigan mahsulotlar ishlab chiqarish va xalqning turmush tarzini yaxshilashdan iboratdir. Tegishli mahalliy davlat boshqaruvi va ijro hokimiyati organlari bilan samarali hamkorlikni taʼminlash orqali joylarda zamonaviy texnikalar bilan jihozlangan sanoat korxonalarini qurish va ishga tushirish rejalashtirilgan. Qarorda sifatli mahsulotlar ishlab chiqarish uchun yetishtiriladigan xomashyolarga birlamchi ishlov berish, turli-tuman sanoat va qishloq xoʻjalik chiqindilarni qayta ishlashda mavjud quvvatlardan foydalanish, mavjud korxonalarni modernizatsiya qilish orqali chuqur qayta ishlashni yoʻlga qoʻyish, qishloq xoʻjalik tarmogʻini rivojlantirishga doir dasturiy chora-tadbirlarni amalga oshirish, tizimli yagona ilmiy-texnik, texnologik, investitsiyaviy va eksport siyosatini izchil amalga oshirish, sohani har tomonlama qoʻllab-quvvatlash va meʼyoriy-huquqiy bazani takomillashtirish masalalariga alohida eʼtibor qaratilgan. Hozirgi davrda Respublikamizda yosh avlodni tarbiyalash va ularni taraqqiy etgan mamlakatlardagi kabi, jahon standartlariga mos darajada bilim olishlari uchun barcha sharoitlar yaratilmoqda, har tomonlama yetuk kadrlar boʻlib yetishishlari uchun ulkan ishlar amalga oshirilmoqda.

Qishloq xoʻjalik mahsulotlari qimmatbaho xom ashyo hisoblanadi va ularni chuqur qayta ishlash orqali daromadni bir necha bor oshirish mumkin. Qishloq xoʻjalik mahsulotlari xalq xoʻjaligining juda koʻp sohalarida ishlatiladi. Masalan tabiiy ipakdan eng noyob, juda chiroyli va pishiq gazlamalar toʻqiladi. Ipakdan aviatsiyada, fazoni tadqiq qilishda, radio-televizorlar ishlab chiqarishda, tibbiyotda, cholgʻu asboblari, fotografiya va kinofotografiyada foydalaniladi. Bularni ishlab chiqarish uchun esa yuqori malakali injiner muxandislar, elektronika sohasining yetuk mutaxassisleri zarur boʻladi.

O'zbekiston Respublikasining "Kadrlar tayyorlash milliy dasturi", "Ta'lim to'g'risida"gi qonuni ta'lim - tarbiya tizimida tubdan amalga oshirilayotgan islohotlarning yaqqol na'munasidir. Qisqa fursatda ta'limning barcha turlari uchun Davlat ta'lim standartlari yaratildi. Ta'lim tizimida uzluksizlik ta'minlanib, erkin fikrlaydigan, Vatan va millat manfaatlarini yurakdan his qiladigan, o'z ona yurtini ulug'lashga qodir, har tomonlama barkomol, yetuk, yuksak ma'naviyatli va ma'rifatlil, ulkan salohiyatga ega bo'lgan, zamonaviy va raqobatbardosh kadrlar tayyorlashni maqsad qilib qo'yilgan. Hozirgi kunda oliy ta'limning bo'lajak mutaxassislarini jahon standartlariga mos keladigan amaliy malaka va ko'nikmalarni shakllantirishda muhim rol o'ynaydigan, o'quv - tarbiya jarayonini moddiy - texnika bazasini mustahkamlash va uni yuqori sifatli adabiyotlar bilan ta'minlashga alohida e'tibor berilmoqda.

Fundamental fan ma'lumotlari hamma vaqt amaliyotda, tajribada tekshirilib isbotlangandagina hayotiy ma'lumotlar bo'lib qolgan. Fizika fanni tajribaga asoslangan fandir. Nazariy ma'lumotlarni tajribada tekshirib ko'rishning eng samarali yo'li laboratoriya ishlaridir.

Ushbu darslikda talabalar uchun elektr va magnetizm kursi bo'yicha texnologik jarayonlar va ishlab chiqarishni avtomatlashtirish va boshqarish (qishloq xo'jaligi) mutaxassisliklari uchun mavzular ustida mustaqil ishlashga tavsiyalar va o'z - o'zini nazorat qilish bo'yicha test topshiriqlari va dasturlar keltirilgan. Darslik 60711400 - Texnologik jarayonlar va ishlab chiqarishni avtomatlashtirish va boshqarish (qishloq xo'jaligi) bakalavr ta'lim yo'nalishiga mo'ljallangan.

KIRISH

Bu darslik oliy o'quv yurtlarining texnologik jarayonlar va ishlab chiqarishni avtomatlashtirish va boshqarish (qishloq xo'jaligi) talabalari uchun mo'ljallangan fizika fani dasturiga binoan yozilgan. Darslikning uncha katta bo'lmagan hajmda berilishi asosan materialni tanlash va qisqacha tushuntirish natijasida erishiladi. Materialni tushuntirish murakkab matematik isbotlarsiz olib borilib, asosiy e'tibor hodisaning fizik tomoniga va uni tushuntiruvchi xulosa va qonuniyatlarga, hamda hozirgi zamon va klassik fizika qonunlarining qo'llanilishlariga qaratilgan. Fizik kattaliklarning belgilanishlari va o'lchov birliklari xalqaro hozirgi zamon standartlariga mos keladi.

Qadimdan insoniyat atmosferada elektr hodisalarini kuzatganlar. Bundan ikki ming yil oldin boshqa elektr hodisalari – ishqalanish orqali jismlarda elektr hosil qilishni ishqalangan yantar va boshqa moddalar yengil buyumlarni tortishini kuzatganlar. Lekin, elektr hodisalarini o'rganish (yantar grekcha so'z bo'lib, - elektron demakdir) XVII asrda rivojlana boshladi.

Elektr hodisalarini o'rganishda birinchi muvaffaqiyatga XVIII asrning o'rtalarida erishildi. Rossiyada Lomonosov, Amerikada Franklinlar tajribada atmosferadagi elektr hodisalari bilan ishqalanish vaqtida hosil bo'lgan elektrlanish o'rtasida umumiylik bor ekanligini isbot qildilar.

Elektrni miqdoriy jihatdan o'rganish uchun Rixman birinchi elektroskopni ixtiro qildi. U yupqa ipga bog'langan metall chizg'ichdan iboratdir. Elektrlanish vaqtida ip chizg'ichdan ma'lum burchakga chetlanganligini kuzatdi va transportyor bilan o'lchadi.

Lomonosov atmosfera elektrining nazariyasini yaratdi. Bu nazariyaga ko'ra, atmosfera havosi uzluksiz harakatda bo'ladi. Quyosh nurlari Yer sirtini qizitadi, u o'z navbatida unga yaqin bo'lgan havo qatlamini isitadi. Isitilgan havo yuqoriga ko'tariladi, uning joyiga atmosferaning yuqori qatlamidan og'ir havo tushadi. Bir biriga nisbatan harakat qilayotgan havo massasi ishqalanish tufayli zaryadlanadi va u katta masshtabda ishqalanish tufayli elektrlanishni amalga oshiradi.

Elektr hodisalarining tabiatini tushuntirish boshlanganidan so'ng uning amaliy qo'llanilishiga ham erishildi. Atmosfera elektrlanishidan

saqlanish uchun Franklin yashin qaytargich ishlab chiqdi . Shu tajribalar asosida Franklin ikkita turli xil jinsli elektr suyuqligi bo'lishligini aytdi va hozirgi zamon terminalogiyasini kiritdi. Terini shisha tayoqchaga ishqalashda terida paydo bo'lgan zaryadni "musbat" deb, junni ebonit tayoqchasiga ishqalaganda to'plangan zaryadni "manfiy" deb atadi. Tajribalar natijasida shuni ko'rsatdiki, bir xil zaryadlar bir birini itaradi, turli xil ishorali zaryadlar bir biriga tortiladi. Ular teng miqdorda qo'shilganda neytrallashadi. Shundan so'ng zaryadlarning saqlanish qonuni kashf qilindi. Jismlarning barcha elektrlanish jarayonlarida zaryadlarining algebraik yig'indisi o'zgarmay qoladi. Fizikaning keyingi yutuqlari ko'rsatdiki, bu qonun atom va yadro jarayonlari uchun ham o'rinli ekan. Elektr zaryadining atom tuzilishi va eng mayda elementar zaryad bor ekanligi 1909 yilda R. Milliken tomonidan tajribada aniqlandi. Elektr tokining magnit ta'siri Ersted tomonidan ochildimiguncha magnetizm haqidagi ta'limot alohida o'rganilib kelindi. Doimiy magnitning qonunlari chuqur o'rganilib, ikkita magnit qutbi bor ekanligi, bu qutblar o'rtasida o'zaro ta'sir mavjudligi: har xil qutblar bir birini tortishi, bir xil qutblar esa bir birini itarishi aniqlandi. Magnit qutblari uchun Kulon qonuni o'rinli ekanligi isbot etildi. Veber har qanday doimiy magnit elementar magnitlar yig'indisidan iborat degan nazariyani yaratdi.

Keyinchalik, elektr tokining magnit ta'siri o'rganilgandan keyin Veberning bu "molekulyar magnitlar" Amper tomonidan unga ekvivalent bo'lgan "molekulyar toklar" bilan almashtirildi. Keyinchalik Amper tomonidan elementar elektr dipoli bilan magnit dipolining hosil qilgan magnit maydonlarining ekvivalentligi isbot qilindi.

Elektromagnetizm tarixida eng muhim voqiya Faradey tomonidan elektromagnit induksiya hodisasining ochilishi bo'ldi. Bu kashfiyot juda ko'p texnik qo'llanishlarga ega ekanligi hammaga ma'lum. Shunday qilib, alohida-alohida hisoblanib kelingan elektr va magnit hodisalarining bir biri bilan uzviy aloqasi bor ekanligi aniqlandi.

O'tgan asrning 60 yillarida D. K. Maksvell va M. Faradeylar elektr va magnit maydoni bo'yicha o'tkazgan tajribalarini umumlashtirib, elektromagnit maydon nazariyasini yaratdi. Maksvell nazariyasi klassik fizikani rivojlantirishda muhim rol o'ynadi va umumiy shaklda juda ko'p sondagi hodisalarni, qo'zg'almas zaryadlarning elektrostatik

maydonidan tortib to yorug'likning elektromagnit tabiatigacha bo'lgan jarayonni tushuntirib berdi. Boshqacha qilib aytganda, alohida hisoblanib kelingan elektr, magnetizm va optikani birlashtirdi.

Xullas XX asrning boshlariga kelib elektromagnit hodisalar Maksvell va Faradey ishlari bilan tugallanganday bo'lib qoldi, chunki elektromagnit maydonni boshqaradigan asosiy qonunlar topildi, tegishli tenglamalar yozildi, kelajak avlodning vazifasi bu tenglamalarning yechimini topishdan iborat bo'lganday tuyuldi. Keyinchalik, ma'lum bo'ldiki, hech qanday tugallanganlik haqida gap bo'lishi mumkin emas. Elektromagnit nazariyasi ham mexanika singari unga kvant mexanika qonunlari va nisbiylik nazariyasini qo'llash orqali juda katta yutuqlarga erishildi.

Shunday qilib, elektromagnetizm nazariyasi bizni o'rab olgan tabiatning xossasi va tuzilishini o'rganishda keng imkoniyatga ega bo'ldi. Elektromagnit o'zaro ta'siri tabiatda mavjud o'zaro ta'sirlar o'rtasida eng muhim o'rinni egalladi. Hozirgi vaqtda elektromagnetizm atomning hosil bo'lishidan tortib, barcha kimyoviy jarayonlarni, shu jumladan molekulyar bog'lanish, Van-der-Vaals kuchlari, kovalent bog'lanish, jonli materiyaning hosil bo'lishi sababini ham tushuntirmoqda.

Elektromagnetizm kursini quyidagi bo'limlarga bo'lib o'rganamiz. Elektromagnetizmning asosiy qismi-elektrostatikada elektr zaryadlarining hosil qilgan maydoni uni fazoda taqsimlanishi, turli xil moddalarga kirishining tabiati o'rganiladi. Doimiy tok bo'limida esa, elektr tokining hosil bo'lish sabablari, uning turli xil xossalari, elektr tokining qonunlari va murakkab zanjirlarni hisoblash kabi masalalar o'rganiladi. Shuningdek, bu bo'limda tokning magnit maydoniga alohida etibor beriladi. Magnit maydoni qonunlari vakuumda va modda bo'lgan hollar ham atroflicha o'rganiladi.

O'zgaruvchan tok bo'limida kvazistatsionar toklarning hosil bo'lish mexanizmlari va uning qonunlari atroflicha yoritib beriladi. Shuningdek, bu bo'limda sinusoidal tok qonunlari va ularning texnikada ishlatilishiga ham alohida ahamiyat beriladi. Bu yerda elektr tebranish va uning qonunlari mexanik tebranish va uning qonunlari bilan o'xshashlikda beriladi. Bu bo'limda Maksvellning elektromagnit

maydon nazariyasi uning tenglamalar sistemasining fizik ma'nolari, qo'llanishlari ko'rsatib beriladi.

Bu darslik qishloq xo'jalik, chorvachilik, veterinariya medisinasi instituti texnologik jarayonlar va ishlab chiqarishni avtomatlashtirish va boshqarish va oliy o'quv yurtlarining fizika fani soatlari cheklangan talabalari uchun mo'ljallangan. .

"Fizika" fanining dolzarbligi va oliy kasbiy ta'limdagi o'rni. Ushbu darslikda "Fizika" fanining mazmuni, predmeti va metodi, fizika fanining mohiyati, uning maqsadi va vazifalari elektrostatika, elektr maydoni, o'zgarmas va o'zgaruvchan elektr toki, gazlar va suyuqliklarda elektr toki, yarim o'tkazgichlar xossalari, elektromagnetizm, elektromagnit induksiya hodisalari, elektromagnit tebranishlar va to'liqlar, kabi mavzular uzviylik va uzluksizlik nuqtai-nazardan mantiqiy ketma-ketlikda o'z muammolarini hal qilishda rol o'ynaydi.

"Fizika" fanning maqsadi va vazifasi. "Fizika" fanining asosiy maqsadi—talablardan yetuk mutaxassis bo'lib etishishlari yo'lida kerakli fanlarni puxta o'zlashtirish uchun yetarli darajada baza yaratish, ularning kelgusidagi mehnat faoliyatlarida uchraydigan muammolarni hal etishda mustaqil fikr yuritishlariga va fizika fanining yutuqlarini bevosita tadbqiq etishlari hamda tabiatni va tabiatda ro'y berayotgan hodisalarni to'g'ri tushunishlariga zarur bo'lgan darajada bilim, uquv va ko'nikmalarni hosil qilishdan hamda amaliyotga, ishlab chiqarishga tadbqiq qilishdan iborat. Fanni o'qitishdan maqsad - oliy o'quv yurtlarida fizika fanini o'qitishdan maqsad, talabalarni fizikaning asosiy qonun - qoidalari, hamda nazariy va laboratoriya ishlarini bajarish uchun zarur bo'lgan fizik tushunchalar bilan tanishtirishdan, yangiliklarni mustaqil o'rganib, uning tadbiqlarini o'zlashtira olishga o'rgatishdan, talabalarga elektrlangan jismlar va zarrachalar orasida o'zaro ta'sirni ro'yobga chiqaruvchi elektromagnit maydon xossalari va qonuniyatlari, elektr maydoni va uning xossalari, elektr maydonining asosiy xarakteristikalari - kuchlanganlik, potentsiallar farqi, kuchlanish, elektr sig'imi, elektr maydon energiyasi, elektr maydonidagi moddalar haqida tushunchalar berish, magnit maydon, magnit maydon xossalari va xarakteristikalari bilan tanishtirish va qishloq xo'jaligi ishlab chiqarishning istiqbollari fizik tushunchalar yordamida bayon qila olishga o'rgatishdan iborat.

Fanning vazifasi uni o'rganuvchilariga: elektrostatika, elektr maydoni, o'zgaras va o'zgaruvchan elektr toki, gazlar va suyuqliklarda elektr toki, yarim o'tkazgichlar xossalari, elektromagnetizm, elektromagnit induksiya hodisalari, vakuumda va muhitdagi elektr toki, doimiy va o'zgaruvchan tok, elektromagnit tebranishlar va to'liqlar fizikasi bo'yicha nazariy-amaliy bilimlarni uzviylik va uzluksizlikda o'rgatishdan iborat.

Asosiy fizik hodisalar va g'oyalarni o'rganish, hozirgi zamon va klassik fizikaning fundamental tushunchalari, qonunlari va nazariyalarini o'zlashtirish: talabalarning ilmiy dunyoqarashini va fizikaviy fikrlashini shakllantirish: hozirgi zamon fizikaviy asbob va qurilmalar bilan tanishtirish va fizikaviy tajribalar o'tkazish ko'nikmalarini shakllantirish; fizikaning qishloq xo'jalik ishlab chiqarishdagi qo'llanishi bilan tanishtirish.

“Fizika” fanini o'qitishda zamonaviy axborot va pedagogik texnologiyalardan foydalanish. Talaba “Fizika” fanini o'zlashtirishda ta'limning innovasion usullaridan foydalanishi, yangi pedagogik, axborot va internet texnologiyalarini tadbii qilishi muhim ahamiyat kasb etadi. Fanni o'zlashtirishda o'quv-uslubii ta'minot (darslik, o'quv va uslubii qo'llanmalar, modul topshiriqlari) dan foydalanilish tavsiya etiladi.

Ma'ruza va laboratoriya, hamda amaliy mashg'ulotlarda turli metod va texnik vositalardan, xususan, aqliy hujum, klaster, amaliy ish va didaktik o'yinlar, shuningdek kompyuter dasturlaridan, internet tizimlaridan foydalanish mumkin.

Bizni o'rab turgan dunyo, atrofdagi mavjud narsalar va bizning sezgilarimiz idrok qiladigan borliq materiyani tashkil qiladi. Materiya – falsafii kategoriya bo'lib, u ob'yektiv reallikni ifodalaydi, hamda bizning sezgilarimizda uni aks ettiradi va bu ob'yektiv reallik bizning sezgilarimizga bog'liq bo'lmagan holda mavjuddir. Materiyaning ajralmas xossasi va uning yashash formasi harakatdir. Keng ma'noda harakat deganda materiyaning turli–tuman o'zgarishlari, ya'ni bunda oddii ko'chishdan to murakkab idrok qilish jarayonlarigacha bo'lgan hodisalar tushuniladi. "Harakat, keng ma'nodagi tushunchadir, ya'ni materiyaning yashash formasidir, materiyaga xos ichki xususiyat bo'lib, olamdagi bo'ladigan o'zgarishlar va jarayonlarni, oddii ko'chishdan

boshlab, to idrok qilishgacha bo'lgan jarayonlarni o'z ichiga oladi". Materiya harakatining turli-tuman formalarini turli fanlar, jumladan fizika ham o'rganadi. Fizikaning mavzusi, boshqa har qanday fan uchun ham, uni iloji boricha to'laroq bayon qilish jarayonida aniqlanadi. Fizika mavzusining aniq ta'rifini berish ancha murakkabdir, chunki fizika va bazi oraliq fanlar orasidagi chegara shartlidir. Umuman olganda hozirgi vaqtda fizikaning mavzusi tabiat haqidagi fan degan tushunchani qo'llash unchalik to'g'ri emas.

Akademik A.F.Ioffi fizikaga quyidagi ta'rifni beradi: "Fizika bu modda va maydonning umumiy xossalari va harakat qonunlarini o'rganuvchi fandir". Hozirgi vaqtda hamma o'zaro ta'sirlar maydon orqali amalga oshishi ko'pchilik tomonidan tan olingan, masalan gravitatsion, elektromagnit, yadro kuchlari maydoni. Maydon modda bilan bir qatorda materiya yashash formalarining bir turidir. Maydon va moddaning o'zaro bog'liqligi va ular xossalariidagi farqlar kursni o'rganish davomida ko'rib chiqiladi. Fizika-materiya harakatining eng oliy va shu bilan birga umumiy formalari, ularning o'zaro aylanishlari haqidagi fandir. Fizikada o'rganiladigan materiya harakat turlari hamma oddiy va murakkab materiya turlarida ham mavjuddir. Shu sababdan bular o'zi oddiy bo'lishiga qaramasdan materiya harakatining umumiy turi bo'lib hisoblanadi. Materiya harakatining oliy va murakkab turlari boshqa fanlar (kimyo, geografiya, biologiya va boshqalar) mavzusidir.

Fizika boshqa tabiiy fanlar bilan chambarchas bog'langandir. Akademik S.Vavilov aytganidek fizikaning boshqa tabiiy fanlar bilan chambarchas bog'liqligi shunga olib keldiki, fizika o'zining chuqur ildizlari bilan falakiyotshunoslikga, geologiyaga, kimyoga, biologiya va boshqa tibbiyot fanlarga o'sib o'tdi. Natijada bir qancha oraliq fanlar: astrofizika, geofizika, fizikaviy kimyo, biofizika va boshqa fanlar yuzaga keldi.

Gipoteza – bu biror bir hodisani tushuntirish uchun olg'a surilgan hamda tajribada tekshirilishi va haqiqiy ilmiy nazariyaga ega bo'lishi uchun nazariy tasdiqdan o'tishi kerak bo'lgan tasavvurdir. Tajriba natijalarini hamda inson faoliyatini umumlashtirish natijasida fizik qonunuyatlar aniqlanadi.

Fizikada 7 ta asosiy o'lchov birligi qabul qilingan.

Metr (m) – bu yorug'likning vakuumda $1/299792458c$ vaqt ichida o'tgan yo'lidir.

Kilogramm (kg) – bu massaning xalqaro prototipi kilogramga teng (platina–irridiyli silindr bo'lib, u xalqaro o'lchov va og'irliklarning Parij yaqinidagi Sevrda joylashgan byurosida saqlanadi).

Sekund (S) – bu seziy $-I_{33}$ atomining ikkita o'ta qisqa asosiy holatlari orasidagi o'tish davrining 9192631770 ga ko'paytmasiga teng

Amper(A) – bu shunday o'zgarmaydigan tok kuchiga tengki, u vakuumda bir–biridan 1 m uzoqlikda joylashgan ikkita cheksiz uzun parallel va ko'ndalang kesim yuzi juda kichik bo'lgan o'tkazgichdan o'tganda, o'tkazgichning har bir metriga $2 \cdot 10^{-7} N$ ga teng ta'sir etuvchi kuch hosil qiladi.

Kelvin (K) – bu suvning uchlangan nuqtasidagi termodinamik haroratning $1/273,16$ qismiga tengdir.

Mol (mol) – bu tizimdagi modda miqdori bo'lib, massasi $0,012 kg$ ga teng bo'lgan uglerodda qancha atom bo'lsa shu moddada ham shuncha struktura elementi bo'ladi.

Kandela (cd) – bu chastotasi $540 \cdot 10^{12} Hz$ bo'lgan monoxromatik nurlanish manbaining berilgan yo'nalishidagi shunday yorug'lik kuchiga tengki, uning shu yo'nalish bo'yicha yorug'likning energetik kuchi $1/683W/cr$ ga teng bo'lsin.

Radian (rad) – aylananing radius uzunligiga teng yoy hosil qiluvchi ikkala radius orasidagi burchak qiymati.

Steradian (cr) – uchi sfera markazida joylashgan va sferaning radiusi kvadratiga teng yuzali sirtini ajratuvchi fazaviy burchak.

Hosilaviy o'lchov birliklarni aniqlash uchun ularni asosiy fizik kattaliklar bilan bog'lovchi qonuniyatlardan foydalaniladi.

Elektr maydoni

1-mavzu. Elektrostatik maydon va uning xususiyatlari

§ 1. Elektrostatika. Jismlarning elektrlanishi.

Zaryadlangan jismlar fazoda elektr maydonini hosil qiladi deb aytiladi, bu esa uning maydoniga kiritilgan har qanday zaryadlangan jism bilan o'zaro ta'sirlashishiga asoslanadi. Agar maydonning xarakteristikasi vaqtga bog'liq bo'lmasa, unga elektrostatik maydon deyiladi. Bu mavzuning asosiy maqsadi ham elektrostatik maydonning asosiy xossasini moddaning elektr xossasiga bog'liq bo'lmagan holda o'rganishdir. Buning uchun zaryadlangan jismlarni va ularning elektrostatik maydonini xarakterlaydigan ba'zi bir fizik kattaliklarni kiritamiz va ular bo'ysunadigan qonunlarni aniqlaymiz.

Elektrostatika bu qo'zg'almas zaryadlar hosil qilgan maydonlarda bo'ladigan hodisalarni o'rganuvchi fizikaning bir bo'limi hisoblanadi.

Elektrostatik o'zaro ta'sirni tajribada o'rganish shunday xulosaga olib keladi, ya'ni elektrlangan jismni skalyar fizik kattalik- elektr zaryadi bilan xarakterlash mumkin.

Elektr maydoni materiyaning ko'rinishlaridan biridir. Shu maydonda turgan elektr zaryadlariga maydon tomonidan kuch ta'siri vujudga keladi. Qadim zamonlardan shoyiga ishqalangan qahrabo o'ziga mayda buyumlarni tortishi aniqlangan. Hozirgi vaqtda hamma moddalar tarkibida ikki xil zaryad bo'lishi mumkinligi aniqlangan. Teriga ishqalangan shishada paydo bo'lgan zaryad *musbat*, movutga ishqalangan ebonitda paydo bo'lgan zaryad *manfiy* bo'ladi. Bir xil ishorali zaryadlar o'zaro itarishadi, turli xil zaryadlar esa tortishadi.

§2. Elektr zaryadi. Zaryadning diskretligi. Elektr zaryadining saqlanish qonuni.

Amerikalik olim Milliken elektr zaryad diskret qiymatlariga ega bo'lganligini aniqladi. Elektr zaryadini aniqlash uchun quyidagicha tajriba qilamiz. Elektrostatik maydonning qandaydir nuqtasiga navbat bilan turli xil zaryadlangan jismlarni joylashtiramiz va unga maydon tomonidan ta'sir qilgan kuchlarni aniqlaymiz. Agar maydonni hosil qiluvchi va unga kiritilgan jismlarning o'lchami ular orasidagi masofaga nisbatan kichik bo'lsa, tajriba ko'rsatadiki, o'zaro ta'sir kuchlar bitta to'g'ri chiziq bo'ylab

ta'sir qiladi. Lekin bu ta'sir ba'zi bir jismlar bilan bir yo'nalishda, boshqalari bilan esa qarama-qarshi yo'nalishda bo'ladi. Shunga asosan, barcha zaryadlangan jismlar ikkiga bo'linadi va qarama-qarshi ishorali zaryadlar bilan xarakterlanadi, ularning absolyut miqdorlari q_1 va q_2 ga teng deb olinadi. Shu jismlarga ta'sir qiluvchi kuchlar kattaliklarining F_1 va F_2 nisbatlari ularning zaryadlari q_1 va q_2 nisbatida bo'ladi, ya'ni quyidagi ko'rinishda ifodalanadi:

$$\frac{q_1}{q_2} = \frac{F_1}{F_2} \quad (1.1)$$

Eng kichik zaryad elementar zaryad deb ataladi va uning qiymati $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$. Elektron massasi $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{kg}$ zaryadi manfiy, proton massasi $m_p = 1,76 \cdot 10^{-27} \text{kg}$ bo'lib, musbat zaryadlidir. Xalqaro Birliklar (SI) sistemasida elektr miqdorining o'lchov birligi sifatida 1 C (Kulon) qabul qilingan. O'tkazgich ko'ndalang kesimidan 1 sekundda 1 C zaryad o'tganda 1 Amperga teng tok kuchi hosil bo'ladi. $1\text{C} = 3 \cdot 10^9 \text{SGSE}_q = 6,3 \cdot 10^{18}$ ta elektron (yoki proton) zaryadiga teng.

Ma'lumki, hozirgi vaqtda jismning zaryadi atom tarkibiga kiruvchi elementar elektr zaryadining borligi bilan aniqlanadi. Bu va boshqa zaryadlangan jismlar elementar elektr zaryadiga ega bo'ladi, uning absolyut miqdori

$$e = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{C} \quad (1.2)$$

Bu esa bitta elektronning zaryadidir, ya'ni $1.6 \cdot 10^{-19} \text{C}$ bo'lgan zaryadning eng mayda bo'lakchasidir yoki elektr zaryadining tabiiy o'lchovidir.

Jismning to'la zaryadi

$$q = eN_p + (-e)N_e, \quad (1.3)$$

bu yerda N_p - protonlar soni, N_e - elektronlar soni.

Protonlar soni elektronlar soniga teng bo'lganda $q=0$; elektronlar soni kam bo'lganda ($N_e < N_p$) jism musbat zaryadlanadi, ko'p bo'lganda ($N_e > N_p$)- manfiy zaryadlanadi. Shunday qilib, jism zaryadi hamma vaqt elementar zaryad kattaligiga nisbatan karrali yoki diskretdir.

Ixtiyoriy yopiq (izolyatsiyalangan) sistema elektr zaryadlarining algebraik yig'indisi o'zgarmaydi. Bunga *elektr zaryadlarining saqlanish qonuni* deyiladi. Bu qonun tajriba natijalarini umumlashtirish asosida kelib

chiqqan fundamental qonun hisoblanadi. 1843 yilda Faradey zaryadlarning saqlanish qonunini yaratdi: har qanday yopiq tizimda elektr zaryadlarning algebraik yig'indisi o'zgarmasdan qoladi.

$$\sum_{i=0}^n q_i = \text{const} \quad (1.4)$$

§3. Kulon qonuni. Elektrostatik maydon kuchlanganligi.

1785 yilda Kulon qo'zg'almas zaryadlar orasidagi o'zaro ta'sir kuchini aniqlovchi qonunni yaratdi; vakuumdagi ikkita nuqtaviy zaryad orasidagi o'zaro ta'sir kuchi zaryadlar miqdorlari ko'paytmasiga to'g'ri proporsional, ular orasidagi masofa kvadratiga teskari proporsionaldir.

$$F_0 = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (1.5)$$

bunda k proporsionallik koeffitsiyenti bo'lib, uning qiymati

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

bu erda $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Ф}}{\text{м}}$ —elektr doimiysi deyiladi. Buni e'tiborga olib, vakuumda zaryadlarning o'zaro ta'siri uchun **Kulon qonuni** quyidagicha yoziladi:

$$F_0 = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

(1.6) Agar zaryadli zarralar dielektrik singdiruvchanligi ϵ bo'lgan muhitda joylashgan bo'lsa ularning o'zaro ta'sir kuchi ϵ marta susayadi va quyidagicha bo'ladi:

$$F = k \frac{q_1 q_2}{\epsilon r^2} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 \epsilon r^2} \quad (1.7)$$

Kulon qonunining vektor ko'rinishini vakuum uchun quyidagicha yozish mumkin:

$$\vec{F}_{12} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \frac{\vec{r}_{12}}{r} \quad (1.7a)$$

bu yerda $\vec{F}_{12}$ — q_1 zaryadga q_2 zaryad tomonidan ta'sir etuvchi kuch, $\vec{r}_{12}$ — q_1 va q_2 zaryadlarni tutashtiruvchi radius—vektor.

Muhitning dielektrik singdiruvchanligi ϵ ni (1.6) va (1.7) formulalardan foydalanib topamiz:

$$\epsilon = \frac{F_0}{F} \quad (1.8)$$

Demak, **muhitning dielektrik singdiruvchanligi** deb zaryadlarning vakuumdagi o'zaro ta'sir kuchi muhitdagi ta'sir kuchidan necha marta

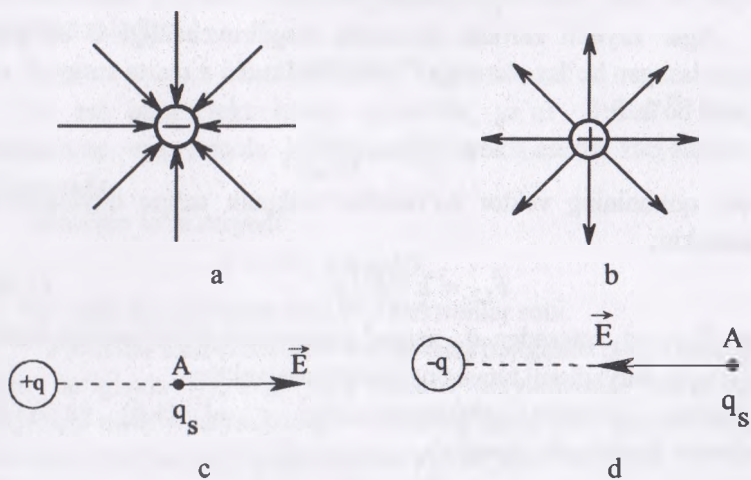
katta ekanligini ko'rsatuvchi skalyar kattalikka aytiladi. Elektr maydonini kuch jihatidan xarakterlaydigan kattalik elektr maydon kuchlanganligi hisoblanadi. *Elektr maydon kuchlanganlig* – maydonning berilgan nuqtasiga qo'yilgan q_0 nuqtaviy sinov zaryadiga ta'sir etuvchi kuchning, shu zaryadga bo'lgan nisbati bilan aniqlanadigan fizik kattalikka aytiladi.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_o}{q_0} \quad (1.9)$$

Elektr maydon kuchlanganlik birligi – $1N/C$. Yuqoridagilarga asosan nuqtaviy zaryad maydon kuchlanganligini boshqacha ko'rinishda yozish mumkin ($\epsilon = 0$):

$$\vec{E}_{12} = k \frac{q}{r^2} \frac{\vec{r}_{12}}{r} \quad (1.10)$$

Kuchlanganlik vektor kattalik bo'lib, uning yo'nalishi berilgan nuqtada joylashgan nuqtaviy musbat zaryadga ta'sir etuvchi kuch yo'nalishi bilan bir xil bo'ladi. Elektr maydonning asosiy xarakteristikasi kuchlanganlik vektoridir. Qandaydir qo'zg'almas zaryadlar sistemasi tomonidan hosil qilingan ixtiyoriy elektrostatik maydonini qaraymiz. Sinash zaryadi q_0 ni olamiz va uni maydonning turli xil nuqtalariga joylashtiramiz. (1.1-rasm) ga ko'ra sinash nuqtaviy zaryadga maydon tomonidan ta'sir qiluvchi kuch F sinash zaryad q_0 kattaligiga proporsionaldir:



1.1 -rasm. a-manfiy zaryad, b-musbat zaryad, c-musbat zaryad kuchlanganligi yo'nalishi, d-manfiy zaryad kuchlanganligi

Nuqtaviy musbat zaryadlangan zaryaddan kuch chiziqlari chiqadi, nuqtaviy manfiy zaryadlangan zaryadga kuch chiziqlari kiradi (1.1- a, b rasm). Nuqtaviy musbat va manfiy zaryadlarning elektr maydoni kuchlanganlik vektorlarining A nuqtasidagi yo'nalishlari ko'rsatilgan, musbat zaryaddan esa uzoqlashgan tomonga va manfiy zaryadga yaqinlashgan tomonga yo'nalgan bo'ladi (1.1-c, d rasm).

$$\vec{F} = \vec{E}q_0, \quad (1.11)$$

Sinash zaryadi eng kamida ikkita shartni qanoatlantirishi kerak. Birinchidan, uning geometrik o'lchamlari juda kichik bo'lishi kerak, chunki bizni fazoning ma'lum nuqtasidagi kuch qiziqtiradi. Ikkinchidan, uning kattaligi q_0 ham uncha katta bo'lmasligi kerak, aks holda uning maydoni tekshirilayotgan maydonning hosil qilgan zaryadlarining qayta taqsimlanishini o'zgartirib yuborishi mumkin, ya'ni natijalarni sezilarli o'zgartirib yuborishi mumkin.

F -kuch maydonning xarakteristikasi bo'la olmaydi, chunki u shu maydonga kiritilgan sinash zaryadiga bog'liqdir. $\vec{E}$ vektor esa q_0 ga bog'liq emas, u maydonning xossasiga, ayniqsa zaryad hosil qilgan maydonning fazoda tarqalishiga va fazoning nuqtasiga bog'liqdir. Unga elektr maydon kuchlanganligi deyiladi. (1.11) ifodadan quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \quad (1.12)$$

Elektr maydon kuchlanganligi son jihatdan sinash zaryad kattaligiga ta'sir qiluvchi kuchga tengdir. Yoki boshqacha aytganda, kuchlanganlik son jihatdan va yo'nalishi jihatdan birlik musbat sinash zaryadiga ta'sir qiluvchi kuchga tengdir. XB sistemasida kuchlanganlikning o'lchov birligi $1N/C$, bu esa $1V/m$ ga ekvivalentdir.

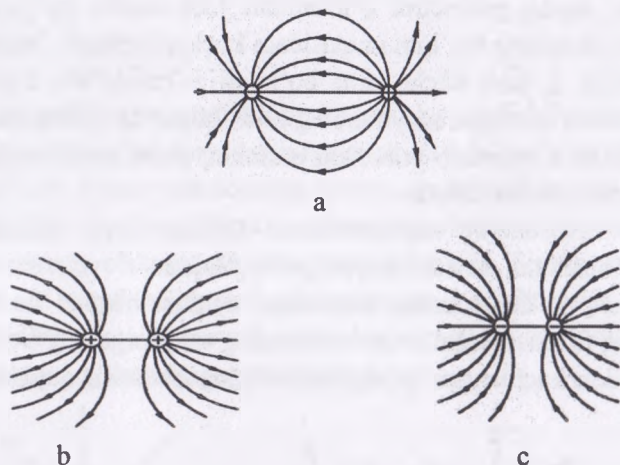
Juda ko'p masalalarda fazoda zaryadlarning joylanishiga qarab elektrostatik maydonning kuchlanganligini aniqlash talab etiladi.

§4. Nuqtaviy zaryad maydonining kuchlanganligi. Superpozitsiya prinsipi.

Elektr maydon kuchlanganligi grafik usulda kuch chiziqlar yordamida tasvirlanadi. Elektr maydonning *kuch chiziqlari* – uning har

bir nuqtasiga o'tkazilgan urinma kuchlanganlik vektori bilan mos keladigan xayoliy chiziqqa aytiladi.

Ikkita har xil ishorali zaryadlar bir-biriga yaqin joylashgan bo'lsa, ular hosil qilgan maydon kuch chiziqlari musbatdan chiqib manfiyga kiradilar (1.2-a rasm). Ikkita bir xil ishorali zaryadlar bir-biriga yaqin joylashgan bo'lsa, ular hosil qilgan maydon kuch chiziqlari bir-birlarini itaradilar va hech kesishmaydilar (1.2-b,c rasm).



1.2- rasm. a-musbat va manfiy, b-ikkita musbat, c-ikkita manfiy zaryadlar kuch chiziqlari

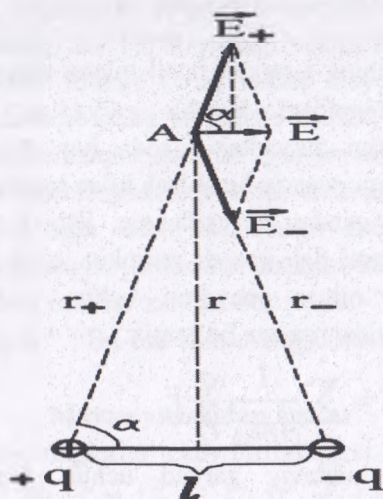
Superpozitsiya shartiga asosan ixtiyoriy nuqtadagi dipol maydonining kuchlanganligi quyidagiga teng bo'ladi:

$$\vec{E} = \vec{E}_+ + \vec{E}_- \quad (1.13)$$

bunda $\vec{E}_+$ va $\vec{E}_-$ – mos ravishda musbat va manfiy zaryadlar hosil qilayotgan maydon kuchlanganliklaridir.

Dipol o'qining o'rtasiga o'tkazilgan perpendikulyardagi maydon kuchlanganligi. 1.3-rasmga muvofiq, A nuqtadagi $\vec{E}$ maydon kuchlanganligi musbat va manfiy zaryadlarning hosil qilgan $\vec{E}_+$ va $\vec{E}_-$ kuchlanganliklarning vektor yig'indisiga teng:

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



1.3-rasm. Kuchlanganlikni hisoblash uchun chizma

Zaryadlar kattaliklari jihatidan bir xil va $r_+ = r_-$ bo'lgani uchun kattalik jihatidan $\vec{E}_+ + \vec{E}_-$. U holda $\vec{E}$ rombning diagonalini bo'ladi, shuning uchun

$$E = 2E_+ \cdot \cos \alpha.$$

Biroq
$$E_+ = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r_+^2} \quad \text{va} \quad \cos \alpha = \frac{\frac{l}{2}}{r_+}$$

Demak,
$$E = \frac{ql}{4\pi\epsilon_0 r_+^3}.$$

Avvalgidek, $r \gg l$ deb olib, $r_+ \approx r$ deb qabul qilamiz. U holda

$$E = \frac{ql}{4\pi\epsilon_0 r^3} = \frac{p}{4\pi\epsilon_0 r^3}. \quad (1.14)$$

Shunday qilib, dipoldan uzoq masofada dipol elektr maydonining kuchlanganligi masofaning kubiga teskari proporsional ekan.

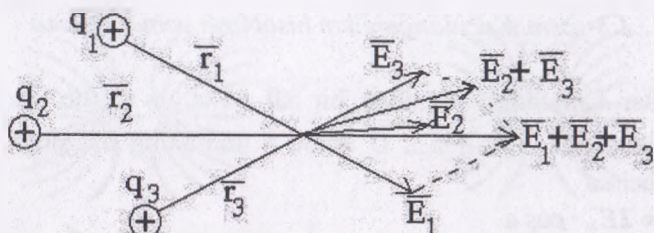
Dipolni o'rab turgan boshqa nuqtalar uchun ham oldingiga o'xshash kuchlanganlik vektorlarini yozish mumkin. Elektrostatik maydon uchun superpozitsiya prinsipi, yoki qo'shilish, bunga ko'ra ixtiyoriy zaryadlar sistemasi tomonidan hosil qilingan maydon kuchlanganligi har bir nuqtada alohida zaryadlar hosil qilgan maydon kuchlanganliklar yig'indisiga teng bo'ldi.

$$\vec{E} = \sum \vec{E}_i \quad (1.15)$$

bu yerda $\vec{E}_i$ -sistemaning i-zaryad hosil qilgan maydon kuchlanganligi va yig'indi sistemadagi barcha zaryadlar bo'yicha olinadi. Superpozitsiya prinsipi zaryadlar fazoda har qanday taqsilanganda maydon kuchlanganligi nazariy hisoblash bilan mumkinligini ko'rsatadi. Haqiqatda ham har qanday zaryadlangan jismni nuqtaviy zaryadlar yig'indisi yoki to'plami deb qarash mumkin. q_i ta nuqtaviy zaryadlar sistemasining hosil qilgan maydoni uchun (1.15) superpozitsiya prinsipiga asosan quyidagiga ega bo'lamiz:

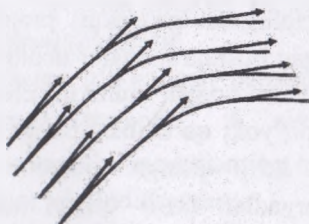
$$\vec{E} = \sum_i \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_i}{r_i^3} \vec{r}_i \quad (1.16)$$

Bu hol uchta nuqtaviy zaryad uchun quyidagi 1.4-rasmda ko'rsatilgan:



1.4-rasm. Superpozitsiya prinsipini namayon qiluvchi chizma

Kuchlanganlik chiziqlari. Agar qandaydir vektor kattalikning qiymati fazoning barcha nuqtalarida yoki fazoning sohasida aniqlangan bo'lsa, vektor maydon haqida gapiriladi. Vektor maydonning ko'rgazmali tasvirini hosil qilish uchun chiziqlar shunday o'tkaziladiki, har bir nuqtadagi vektorning yo'nalishi shu chiziqlarga urinma bo'lishi kerak. (1.5-rasm)



1.5-rasm. Kuch chiziqlarining chizmasi

Vektor maydon chiziqlarini o'tkazish shunday shart bilan amalga oshiriladi, uning zichligi har bir nuqtadagi vektor kattalikning absolyut qiymatiga teng bo'ladi. Bunga ko'ra vektor maydon kichik chiziqlar manzarasiga qarab nafaqat uning yo'nalishi haqida, balki uning kattaligi haqida fikr yuritiladi: chiziqlar zich bo'lgan joyda vektorning kattaligi ko'p, va aksincha. Kuchlanganlik vektori chiziqlari yana bir muhim xossaga ega bo'ladi: agar kuch chiziqlarini zichlik sharti bo'yicha o'tkazilsa, ular zaryadlangan jismlardan tashqari uzluksiz bo'lib, zaryad bor joyda esa uziladi, musbat zaryad bor joyda -"boshlanadi", manfiy zaryadlarda -" tugaydi ". Bu esa Gauss tenglamasini natijasi, bu haqda keyin qaraymiz.

Mavzu yuzasidan testlar

1. Elektr zaryadining miqdori o'lchov birligi qaysi.

A) $1C = 1 \frac{A}{S}$ B) $1C = 1 \frac{S}{A}$ C) $1C = AS$ D) $1C = A \min$

2. Kulon qonunining formulasini ko'rsating.

A) $F = \frac{q_1 q_2}{r^2}$ B) $F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2}$ C) $F = \frac{q}{4\pi r^2}$ D) $F = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$

3. Elektr maydon kuchlanganligi formulasi va uning o'lchov birligi qaysi.

A) $E = \frac{F}{q} \cdot \frac{C}{N}$ B) $E = \frac{F}{q} \cdot \frac{N}{C}$ C) $E = \frac{q}{F} \cdot \frac{N}{C}$ D) $E = F \cdot q \cdot \frac{N}{C}$

4. Elektr maydon kuch chiziqlar qanday zaryadlardan chiqib qaysi zaryadga kirib boradi.

- A) Manfiy zaryaddan chiqib, manfiyga kirib boradi.
- B) Manfiy zaryaddan chiqib, musbatga kirib boradi.
- C) Musbat zaryaddan chiqib, musbatga kirib boradi.
- D) Musbat zaryaddan chiqib, manfiyga kirib boradi.

5. Elektr dipol momentining formulasi qaysi.

A) $P = q/l$ B) $P = q + l$ C) $P = q - l$ D) $P = q \cdot l$

6. Sferik sirt markazidagi musbat zaryad uchun Gauss teoremasining formulasi.

A) $\Phi_E = q \cdot \epsilon_0$ B) $\Phi_E = \frac{q}{\epsilon_0}$ C) $\Phi_E = q - \epsilon_0$ D) $\Phi_E = q + \epsilon_0$

8. Elektrostatik maydon potensial formulasi va o'lovch birligi qaysi.

A) $\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2}; V$ B) $\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r}; V$ C) $\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{r}; F$

D) $\varphi = \frac{q^2}{4\pi} \frac{q}{r^2}; V$

9. Elektrostatik maydon potensial va elektr maydon kuchlanganligi orasidagi bag'lanish formulasini ko'rsating.

A) $E_x = -\frac{\partial\varphi}{\partial x}$ B) $E_x = \frac{\partial\varphi}{\partial x}$ C) $E_x = \partial\varphi \cdot \partial x$ D) $E_x = -\frac{\partial x}{\partial\varphi}$

10. Vakuumda bir-biridan 1 m uzoqlikda joylashgan, har qaysi bir kulondan bo'lgan ikkita nuqtaviy zaryad qanday kuch bilan o'zaro ta'sirlashadi.

A. $9 \cdot 10^9$ N;

B. 1 N;

C. $9 \cdot 10^4$ N;

D. $9 \cdot 10^3$ N.

Mavzu yuzasidan savollar

1. Zaryad saqlanish qonuni deb nimaga aytiladi?
2. Kulon qonunini ta'riflang.
3. Qanday shartlar bajarilganda ikkita zaryadlangan jismlarning o'zaro ta'sir kuchini Kulon qonuni bilan topish mumkin?
4. Elektr doimiysi birligini XBS dagi asosiy birliklar orqali ifodalang.
5. Elektr maydonini belgilovchi asosiy kattaliklarini ayting.
6. Elektr maydon kuchlanganligi nimani ifodalaydi?
7. Zaryad sirt zichligi ta'rifi, formulasi va birligini ayting.
8. Amalda elektr maydoni mavjudligini qanday bilish mumkin?
9. Elektr dipoli deb nimaga aytiladi?
10. Elektrostatik maydon potensialini ta'riflang.

2-mavzu. Elektr maydon oqimi.

§5. Vakuumdagi elektrostatik maydon uchun Ostrogradskiy-Gauss teoremasi

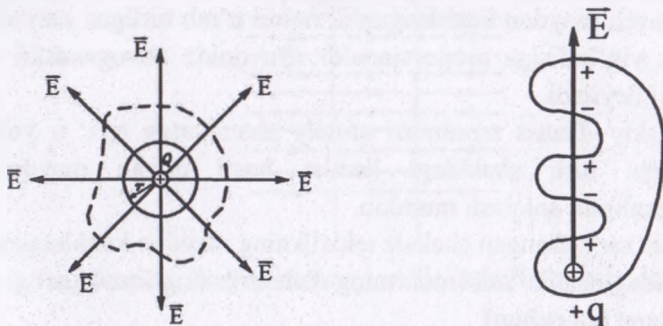
Ostrogradskiy–Gauss teoremasi. Elektr zaryadlar tizimi hosil qilgan maydonining shu zaryadlar tiziminini o‘rab turgan yopiq sirt orqali o‘tayotgan kuchlanganlik oqimini hisoblashni qarab chiqaylik. Ostrogradskiy–Gausslar tomonidan taklif qilingan teorema zaryadlar tizimi hosil qilgan maydonining shu zaryadlar tiziminini o‘rab turgan yopiq sirt orqali o‘tayotgan kuchlanganlik vektori oqimini hisoblashga qo‘llansa, hisoblash ancha oson bo‘lar edi. Dastlab r radiusli sferik sirt uning markazida turgan bitta q zaryadni o‘rab turgan holni qaraylik. q nuqtaviy zaryaddan r masofadagi maydon kuchlanganligi quyidagicha ifodalanad ($\varepsilon = 0$)

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2}$$

Bu formulaga binoan radiusi r bo‘lgan sfera markazida joylashgan nuqtaviy zaryadning shu sfera sirti S ni kesib o‘tuvchi Φ_E kuchlanganlik vektori oqimi quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$\Phi_E = \oint E_n dS = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \cdot 4\pi r^2 = \frac{q}{\varepsilon_0} \quad (2.1)$$

bu natija har qanday shakldagi sirt uchun o‘rinlidir. Haqiqatdan ham agarda sferani erkin yopiq sirt bilan o‘rasak, u holda kuchlanganlikning bu sferani kesib o‘tuvchi har bir chizig‘i bu sirtni ham kesib o‘tadi



2.1–rasm. Nuqtaviy zaryad va jismning maydoni

Agarda ixtiyoriy shakldagi yopiq sirt q zaryadni o‘rab olgan bo‘lsa, u holda kuchlanganlik chiziqlari ba‘zan sirtga kirishi, ba‘zan undan chiqishi ham mumkin.

Umuman, toq sondagi kesishlar oqimni hisoblashda bitta kesish deb olish mumkin, chunki kuchlanganlik chiziqlari sirtidan chiqsa musbat, aksincha, sirtga kirs u manfiy deb qabul qilingan. Ammo yopiq sirt zaryadni o'rab olmagan bo'lsa u orqali o'tuvchi oqim nolga teng bo'ladi, chunki unga kiruvchi va chiquvchi kuchlanganlik chiziqlar soni bir-biriga teng bo'ladi.

Shunday qilib, ixtiyoriy shakldagi yopiq sirt ichida q nuqtaviy zaryad joylashgan bo'lsa, u holda $\vec{E}$ vektorning oqimi q/ϵ ga teng bo'ladi, ya'ni: oqim ishorasi q zaryad ishorasi bilan bir xil bo'ladi. Agar n ta zaryadli zarralarni o'rab olgan ixtiyoriy sirtni qarasak superpozitsiya shartiga asosan, hamma zaryadlar tomonidan hosil qilinaytgan $\vec{E}$ maydon kuchlanganligi har bir zaryadning alohida hosil qilgan $\vec{E}_i$ kuchlanganliklari yig'indisiga teng bo'ladi:

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i$$

bu yerda $i = 1, 2, 3, \dots, n$ larni qabul qilishi mumkin. N ta zaryadli zarracha hosil qilgab Φ kuchlanganlik vektori oqimi quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$\Phi_E = \oint E dS = \oint E_n dS = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_{i=1}^n q_i \quad (2.2)$$

Shunday qilib, elektr zaryadlarni o'rab turgan ixtiyoriy yopiq sirtni kesib o'tuvch maydon kuchlanganlik oqimi o'rab turilgan zaryadlarning algebraik yig'indisiga proporsionaldr. Bu qoida ***Osrogradskiy-Gauss teoremasi*** deyiladi.

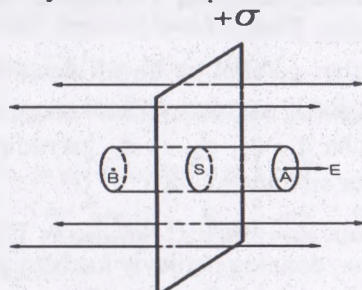
Osrogradskiy-Gauss teoremasi amaliy ahamiyatga ega: u yordamida zaryalangan turli shakldagi jismlar hosil qilgan maydonlarning kuchlanganligini aniqlash mumkin.

1. Tekis zaryadlangan cheksiz tekislikning maydon kuchlanganligi quyidagicha bo'ladi (muhitning dielektrik singdiruvchanligi $\epsilon = 0$ bo'lgan hol uchun)

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \quad (2.3)$$

Shunday qilib, zaryadlangan cheksiz tekislikning maydon kuchlanganligi σ – sirtiy zaryad zichligiga proporsional va tekislikdan

uzoqlashgan sari o'zgarmasdan qolaveradi. Demak, zaryadlangan tekislik bir jinsli elektr maydonni hosil qilar ekan.



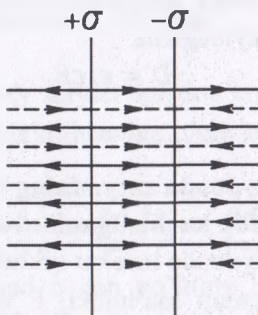
2.2-rasm. Zaryadlangan tekislik maydoni

2. Ikkita turli ishorali zaryadlar bilan zaryadlangan cheksiz katta parallel tekislikliklar orasidagi maydon kuchlanganligi (muhitning dielektrik singdiruvchanligi $\epsilon = 0$ bo'lgan hol uchun)

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \quad (2.4)$$

bo'ladi.

Ikkita turli ishorali zaryadlangan cheksiz parallel tekislik orasidagi maydon bir jinsli bo'ladi, tekislikning o'ng va chap tomonlarida esa maydon bo'lmaydi.



2.3-rasm. Zaryadlangan parallel tekisliklar maydoni

2.3-rasmdan ko'rinib turibdiki, tekisliklar orasidagi maydonlar qo'shiladi (kuch chiziqlari bir tomonga yo'nalgan). Shuning uchun tekisliklar orasidagi maydon $E = E_+ + E_-$ yoki $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$

Tekislikning chap va o'ng tomonidagi maydonlar ayriladi (kuch chiziqlari bir—biriga qarama—qarshi yo'nalgan). Shuning uchun maydon kuchlanganligi bu yerda $E = 0$.

Maydon chiziqlari parallel va bir xil uzoqlikda joylashgan bo'lsa bunday maydon bir jinsli maydon bo'ladi. Agar maydonni bir zaryad hosil qilmay bir necha $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$ zaryadlar hosil qilsa, u holda sinov zaryad q_0 ga ta'sir etuvchi kuch:

$$\vec{F} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i = \sum_{i=1}^n q_0 \vec{E}_i = q_0 \sum_{i=1}^n \vec{E}_i = q_0 \vec{E}. \quad (2.5)$$

Elektrostatik maydonning natijaviy kuchlanganligi:

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i$$

Bu prinsipga elektrostatik maydonlar kuchlanganlik superpozitsiya prinsipi deyiladi. Nuqtaviy zaryad kuchlanganligi quyidagicha ifodalanadi

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2} \quad (2.6)$$

Zaryadlangan shar maydonining kuchlanganligi

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2} \quad (2.7)$$

ga teng, bunda q — radiusi R bo'lgan shar sirtidagi zaryad, r — shar markazidan zaryadgacha bo'lgan masofa bo'lib, $r > R$.

Maydonning D elektrostatik induksiyasi bilan maydon E kuchlanganligi orasidagi munosabat quyidagicha

$$D = \epsilon_0 \epsilon E \quad (2.8)$$

bo'ladi.

§ 6. Elektrostatik maydonda zaryadning ko'chishida bajarilgan ish.

Elektrostatik maydon kuchlanganlik vektorining sirkulyasiyasi

Sinash zaryadni maydonda harakat qildirilganda elektrostatik kuchlar ish bajaradi. Mexanikadan ma'lumki, F kuchning Δl cheksiz kichik ko'chishdagi ishi $\Delta A = F \Delta l \cos \alpha = F_l \Delta l$ bilan aniqlanadi, bu yerda α — kuch yo'nalishi bilan ko'chish orasidagi burchak, $F_l = F \cos \alpha$ kuchning ko'chish yo'nalishdagi proyeksiyasi. Chekli yo'ldagi ish (B nuqtadan C nuqttagacha masofada) kichik ishlarning yig'indisi sifatida aniqlanadi:

$$A_{BC} = \int_B^C F \cos \alpha dl = \int_B^C F_l dl \quad (2.9)$$

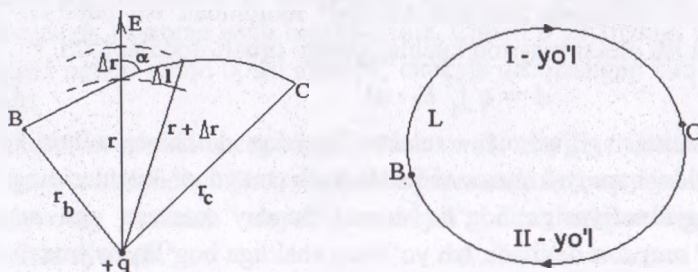
Sinash zaryadga ta'sir qiluvchi kuch $F = Eq_0$ bilan aniqlangani uchun, elektrostatik kuchning sinash zaryadini cheksiz kichik siljish Δl -ga ko'chirganda bajarigan ishi quyidagicha bo'ladi:

$$\Delta A = q_0 E \Delta l \cos \alpha = q_0 E_l \Delta l, \quad (2.10)$$

B nuqtadan C nuqtagacha chekli masofada bajarigan ishi:

$$A_{BC} = q_0 \int_B^C E \cos \alpha dl = q_0 \int_B^C E_l dl, \quad (2.11)$$

q_0 sinash zaryadni nuqtaviy zaryad maydonida ko'chirganda bajarilgan ishni hisoblaymiz.



2.4-rasm. Maydonda zaryadning ko'chishida bajarilgan ishni hisoblash chizmasi

(2.11) formulaga nuqtaviy zaryad maydon kuchlanganligi qiymatini qo'ysak va $dl \cos \alpha = dr$ ekanligini hisobga olsak u holda quyidagiga ega bo'lamiz:

$$A_{BC} = q_0 \int_B^C E \cos \alpha dl = q_0 \int_{r_b}^{r_c} \left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \right) dr = \frac{q_0 q}{4\pi\epsilon_0} \int_{r_b}^{r_c} \frac{dr}{r^2} = -\frac{q_0 q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_b} - \frac{1}{r_c} \right), \quad (2.12)$$

Bu yerda r_b va r_c zaryad q dan yo'lining boshlang'ich va oxirgi nuqtasigacha bo'lgan masofa. Bu formuladan ko'rinadiki, ish siljish (ko'chish)ning boshlang'ich va oxirgi nuqtalarining holatiga bog'liq bo'lib, yo'lining shakliga bog'liq emas, chunki isbot qilishda shakl ixtiyoriy tanlab olingan edi. Zaryadni ko'chirganda bajarilgan ishning yo'lining shakliga bog'liq bo'lmasligi har qanday elektrostatik maydonning umumiy xossasiga kiradi. Haqiqatdan ham, (2.12)

formuladan va superpozitsiya prinsipidan foydalanib quyidagiga ega bo‘lamiz:

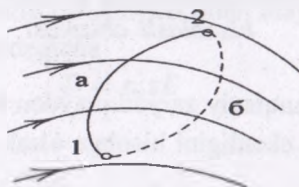
$$A = q_0 \int E_i dl = q_0 \int \left(\sum_i E_i^{(i)} dl \right) = \sum_i \left(q_0 \int E_i^{(i)} dl \right) = \sum_i A_i, \quad (2.13)$$

yani ixtiyoriy zaryadlar sistemasi tomonidan bajarilgan ish har bir nuqtaviy zaryadning alohida bajargan ishlarining yig‘indisiga teng bo‘ladi. Har bir ish A_i sinash zaryadning trayektoriyasining shakliga bog‘liq emas, u vaqtda yig‘indi ish ham yo‘lning shakliga bog‘liq bo‘lmaydi. Bu shuni bildiradiki, **elektrostatik kuchlar-konservativdir**.

Elektr maydonida q zaryad 1 a va 1 b trayektoriya bo‘yicha 1 dan 2 ga qarab siljiganda maydon kuchlari tomonidan ish bajaradi (2.5-rasm). Bu ish elektr maydon kuchlanganligi orqali ifodalaniladi.

$$A = q \int_1^2 E_\ell \cdot dl \quad (2.14)$$

dl – elementar siljish, E_ℓ – elektr maydon kuchlanganligining dl yo‘nalishidagi proyeksiyasi. Elektrostatik maydon kuchlarining ishi siljish trayektoriyasiga bog‘liq emas. Bunday xossaga ega maydon **potensial maydon** deyiladi. Ish yo‘lning shakliga bog‘liq bo‘lmasligidan zaryadni yopiq kontur bo‘yicha ko‘chirishda bajarargan ishi nolga teng bo‘lishi kelib chiqadi.



2.5–rasm. Elektr maydonida zaryadni ko‘chirishda bajarilgan ishni hisoblash chizmasi.

(2.12) ifodani qo‘llab va q_0 ga qisqartirib, olingan natijani quyidagicha yozish mumkin:

$$\oint_L E_\ell dl = 0 \quad (2.15)$$

integral yopiq kontur bo‘yicha olinadi.

Ixtiyoriy vektor maydoni A uchun $\oint_L A_\ell dl$ ifodani yozish mumkin va unga A vektorning yopiq kontur bo‘yicha sirkulyatsiyasi deyiladi.

Sirkulyatsiya oqim bilan birga vektor maydonining asosiy xarakteristikasidir. Formula (2.15) shuni bildiradiki, elektrostatik maydon kuchlanganligining yopiq kontur bo'yicha sirkulyatsiyasi nolga teng ekan.

§ 7. Elektrostatik maydon potentsiali. Nuqtaviy zaryad va zaryad tizimi maydonlarining potentsial.

Elektrostatik kuchlarning konservativ xossasidan kelib chiqadiki, elektrostatik maydonda joylashgan sinash zaryad potentsial energiyaga ega bo'ladi. Potentsial energiyaning umumiy aniqlanishidan foydalanib, maydonning qandaydir B nuqtasidan qandaydir belgilangan nuqtaga ko'chirganda bajargan ishini hisobdaymiz. Chekli o'lchamdagi zaryadlar sistemasi uchun sanoq boshi sifatida cheksiz uzoqlashgan nuqta qabul qilinadi.

Elektr maydonni energetik jihatidan xarakterlaydigan kattalik elektr maydon potentsialidir. *Elektr maydon potentsiali* deb maydon potentsial energiyaning sinash zaryadiga nisbati bilan aniqlanadigan fizik kattalikka aytiladi.

$$\varphi = \frac{W_p}{q_0} \quad (2.16)$$

bu yerda φ — elektr maydon potentsiali bo'lib, u skalyar kattalik. W — maydon energiyasi, q_0 — maydonga kiritilgan sinash (bir-birlik musbat) zaryadi

Elektr maydon potentsiali ko'chish trayektoriyasiga bog'liq bo'lmasdan, balki zaryadga, ko'chishning boshlang'ich va oxirgi nuqtalaridagi potentsial energiyalariga bog'liq va demak, maydonning o'ziga bog'liqdir.

Son jihatidan elektr maydon kuchlarining birlik musbat zaryadni maydonning bir nuqtasidan ikkinchi nuqtasiga ko'chirishda bajarilgan ishga teng bo'lgan kattalik maydon ikki nuqtasi orasidagi *potentsiallar ayirmasi* deyiladi.

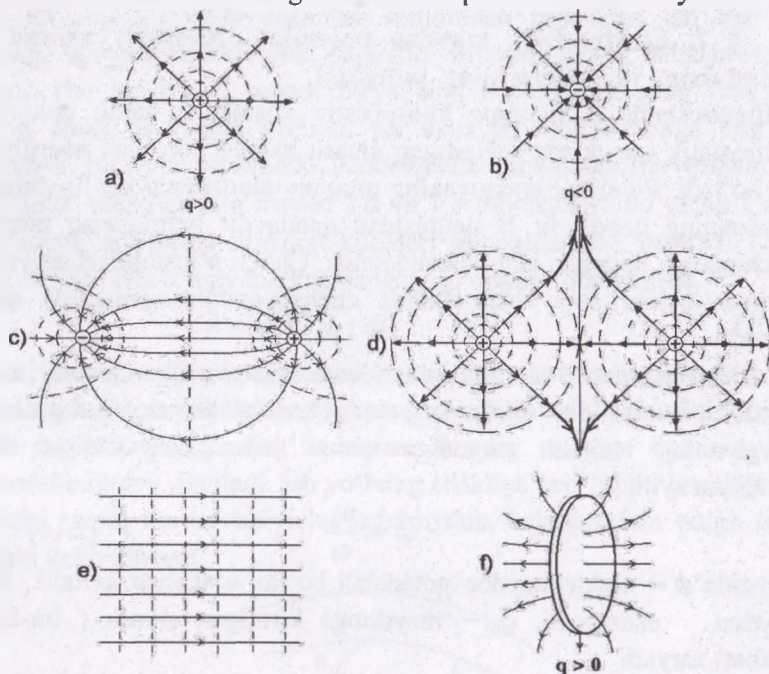
$$U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A}{q} = q_1 \int_1^2 \frac{E_t dl}{q} = \int_1^2 E_t dl \quad (2.17)$$

buyerde φ_1 va φ_2 — elektr maydonning 1 va 2 nuqtalariga mos keladigan potentsiallar ayirmasi maydonga va tanlangan nuqtalar vaziyatiga bog'liq bo'lar ekan. Nuqtaviy zaryaddan biror r —

masofadagi maydoni potensialini umumiy holda quyidagicha yozish mumkin:

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (2.18)$$

Potensiallari bir xil bo'lgan sirtlar ekvipotensial sirtlar deyiladi.



2.6-rasm. Ekvipotensial sirtlar ko'rinishlari

Ma'lumki elektr maydoni ikki fizik kattalik bilan xarakterlanadi: kuchlangalik (kuch xarakteristikasi) va potensial (energetik xarakteristika), bu ikki kattalik o'zaro qanday bog'langanligini qarab chiqaylik. Faraz qilalik, q musbat zaryad elektr maydon kuch ta'sirida potentsiali φ_1 bo'lgan ekvipotensial sirtidan potentsiali $\varphi_2 < \varphi_1$ bo'lgan juda kichik Δx masofadagi ekvipotensial sirtga ko'chirilgan bo'lsin. Bu holda maydonning E kuchlanganligi Δx kichik yo'lda doimiy deb hisoblash mumkin. Bu Δx masofaga ko'chirish ishini yozaylik:

$$\Delta A = qE\Delta x \quad (2.19)$$

bu yerda $qE = F$ zaryadni Δx yo'lga ko'chiruvchi kuch. Boshqa tomondan esa ish quyidagiga teng:

$$\Delta A = q(\varphi_1 - \varphi_2) = q\Delta\varphi \quad (2.20)$$

bunda $\varphi_1 - \varphi_2 = \Delta\varphi$ potentsiallar farqi. (2.19) va (2.20) formulalardan foydalanib quyidagini hosil qilamiz:

$$E = -\frac{\Delta\varphi}{\Delta x} = -grad \varphi \quad (2.21)$$

Elektr maydon kuchlanganlik birligi, yana biri – $1V/m$. “minus” ishora maydon kuchlanganligi potentsialning kamayish tomoniga, potentsial gradiyenti esa potentsialning ortish tomoniga qarab yo‘nalgani uchun qo‘yilgan.

Potentsial o‘lchov birligi volt (V – bu shunday maydon nuqtasining potentsialliki, bu yerda $1C$ li zaryad $1J$ potentsial energiyaga ega bo‘ladi) ($1V = 1J/C$). Agar elektr maydon $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$ nuqtaviy zaryadlar tomonidan hosil qilingan bo‘lsa, umumiy potentsial shu zaryadlar hosil qilgan $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \dots, \varphi_n$ potentsiallar algebrak yig‘indisiga teng bo‘ladi. Ya’ni:

$$\varphi = \sum_{i=0}^n \varphi_i = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=0}^n \frac{q_i}{r_i}$$

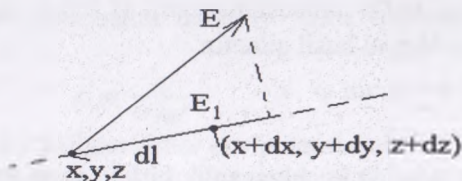
§8. Elektrostatik maydon kuchlanganligi bilan potentsiali orasidagi bog‘lanish. Elektr dipoli va uning maydoni.

Kuchlanganlik bilan potentsial orasidagi bog‘lanish potentsialning aniqlanishidan kelib chiqadi. Lekin bu yerdagi bog‘lanish lokal emasdir, chunki bu yerda potentsialning qandaydir nuqtadagi qiymati butun chiziqdagi kuchlanganlikning qiymati orqali aniqlanadi. Hozir biz kuchlanganlik potentsialning koordinata bo‘yicha hosilasining har bir nuqta uchun bog‘lanishini qarab chiqamiz.

E va $\varphi(x,y,z)$ koordinatalari x,y,z bo‘lgan kuchlanganlik va potentsialning qiymatlari bo‘lsin. Ma’lum yo‘nalish bo‘yicha $x+dx$, $y+dy$, $z+dz$ cheksiz kichik koordinatalarga, ya’ni dastlabki nuqtadan dl masofada joylashgan nuqtaga siljiydi. (2.6-rasm).

Sinash zaryadni bir nuqtadan ikkinchi nuqtaga ko‘chirishda bajarilgan kichik ish:

$$dA = q_0[\varphi(x,y,z) - \varphi(x+dx, y+dy, z+dz)], \quad (2.22)$$



2.7-rasm. Kuchlanganlik va potensialning orasidagi bog'lanishni aniqlash chizmasi

Kichik ish uchun uning ifodasi va qavs ichida potensialning manfiy ishora bilan o'zgarishini hisobga olsak:

$$E_1 dl = -d\varphi, \quad (2.23)$$

Bundan:

$$E_1 = -\frac{d\varphi}{dl}, \quad (2.24)$$

$d\varphi/dl$ ifoda potensialning yo'nalish bo'yicha hosilasini bildiradi. U son jihatdan potensial o'zgarishining dl uzunlik yo'nalishdagi qiymatiga teng bo'ladi.

Demak uning absolyut qiymati potensialning qaralayotgan yo'nalishda o'zgarish tezligini xarakterlaydi, ishorasi esa shu yo'nalishda oshish yoki kamayishni bildiradi. Potensial o'zgarishning kuchlanganlik vektori yo'nalishdagi o'zgarish xarakteri boshqa yo'nalishlarga nisbatan nima bilan farq qiladi? Bu savolga javob berish uchun (2.24) formulani $\vec{E}$ vektori yo'nalishi uchun yozamiz. Bu yo'nalish uchun $E_1=E$ u holda

$$E = -\left(\frac{d\varphi}{dl}\right)_{E \text{ yo'nalishida}}, \quad (2.25)$$

Bundan kelib chiqadiki, $\vec{E}$ vektor yo'nalishida potensial kamayadi: ($E>0$, $dl>0$, demak, $d\varphi<0$), shu bilan birga tezroq kamayadi. Shunday qilib kuchlanganlik vektori potensialning eng ko'p kamayishi tomon yo'nalgan bo'ladi. (2.24) formulani x, y, z yo'nalishlari bo'yicha dekart koordinatasida yozamiz, kuchlanganlik vektorining E_x, E_y, E_z proyeksiyalarini aniqlaymiz

$$E_x = -\frac{\partial \varphi}{\partial x}, E_y = -\frac{\partial \varphi}{\partial y}, E_z = -\frac{\partial \varphi}{\partial z}, \quad (2.26)$$

$-\frac{\partial \varphi}{\partial x}, -\frac{\partial \varphi}{\partial y}$ va $-\frac{\partial \varphi}{\partial z}$ lar $\varphi(x, y, z)$ – skalyar kattalikning gradient ostida

va **grad** φ belgisi bilan begilanadi. (2.26) formulaga asosan kuchlanganlik vektori manfiy potensial gradienti orqali ifodalanadi:

$$\vec{E} = -\text{grad}\varphi, \quad (2.27)$$

(2.21) va (2.24) formulalar maydon kuchlanganligini hisoblashga imkoniyat beradi, buning uchun potensialni topish va uni koordinatalar bo'yicha differensiallash kerak. Bu superpozitsiya prinsipiga nisbatan ham qulaydir.

Mavzu yuzasidan testlar

1. Ostragradskiy – Gauss teoremasining matematik ifodasini aniqlang:

$$A) \Phi_E = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_{i=1}^N q_i = \frac{1}{\epsilon_0 \epsilon_V} \int P_V dV; \quad B) \Phi_E = \oint_S E_n dS;$$

$$C) \oint_l E_i dl = 0; \quad D) \vec{E} = \int d\vec{E}.$$

2. Elektrostatik maydon kuchlanganligi vektorining sirkulyasiyasi haqidagi teoremaning matematik ifodasini aniqlang.

$$A) \oint_l E_i dl = 0; \quad B) \Phi_E = \frac{1}{\epsilon_0 \epsilon_V} \int P_V dV;$$

$$C) \vec{E} = \int d\vec{E}; \quad D) \Phi_E = \oint_S E_n dS;$$

3. Zaryadlangan R radiusli shar ichida ($r \leq R$) va tashqarisida ($r > R$) potensialni hisoblaydigan ifodalarni (φ_1 va φ_2) aniqlang ($k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$).

$$A) \varphi_1 = k \frac{q}{\epsilon R} \text{ va } \varphi_2 = k \frac{q}{\epsilon r}; \quad B) \varphi_1 = 0 \text{ va } \varphi_2 = k \frac{q}{\epsilon r};$$

$$C) \varphi_1 = 0 \text{ va } \varphi_2 = k \frac{q}{\epsilon R}; \quad D) \varphi_1 = k \frac{q}{\epsilon R} \text{ va } \varphi_2 = 0.$$

4. Elektr maydoni kuchlanganligi va potensial gradiyenti orasidagi umumiy bog'lanishni aniqlang.

$$A) \vec{E} = -\text{grad}\varphi; \quad B) E = dqdr;$$

$$C) E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d}; \quad D) E = \int d\varphi.$$

5. Zaryadlarning sirt bo'yicha qayta taqsimlanishi, ya'ni manfiy va musbat qutblar hosil bo'lishi ... deyiladi

A) Elektrostatik induksiya

B) Elektromagnit induksiya

C) O'tkazuvchanlik

D) Magnitlanish

6. Volt – nimani o'ltchov birligi?

A) Kuchlanishni

B) tezlikni

C) tezlanishni

D) yopishqoqlik koeffitsiyentini

7. Zaryadlanmagan qalin sferik metall qatlamning markaziga zaryadlangan sharcha joylashtirildi. Elektr maydoni qayerda mavjud bo'ladi:

A) Sfera ichida va tashqarisida; B) Faqat sfera tashqarisida;

C) Faqat sfera ichida;

D) Metall qatlam ichida.

8. Har xil diametrli ($D_1 > D_2$) ikkita metall sharga teng miqdordagi zaryad berildi. Sharlarning potensialini taqqoslang:

A) $\varphi_1 > \varphi_2$;

B) $\varphi_1 < \varphi_2$;

C) $\varphi_1 = \varphi_2$;

D) $\varphi_1 \gg \varphi_2$.

9. Ekvipotensial sirtlar elektrostatik maydoni kuchlanganlik chiziqlariga nisbatan qanday joylashadi:

A) Parallel; B) Perpendikulyar;

C) Ixtiyoriy burchak ostida;

D) Ekvipotensial sirtlarning joylashuvi kuchlanganlik chiziqlari bilan.

10. Har xil diametrli ($D_1 > D_2$) metall sharlar teng potensialgacha ($\varphi_1 = \varphi_2$) zaryadlandi. Sharlardagi zaryad miqdorlarini taqqoslang:

A) $q_1 \ll q_2$;

B) $q_1 < q_2$;

C) $q_1 = q_2$;

D) $q_1 > q_2$.

Mavzu yuzasidan savollar

1. Elektrostatik maydon potensialini ta'riflang.

2. Elektrostatik maydon kuchlanganlik vektori sirkulyatsiyasining ma'nosini ayting.

3. Ekvipotensial sirt deb qanday sirtga aytiladi?

4. Elektr maydonining potentsiali va kuchlanganligi qanday bog'langan?

5. Qutblangan va qutblanmagan dielektriklarning farqini ayting.

6. Qutblanish vektorini ta'riflang.

7. Elektr maydonlar kuchlanganliklari superpozitsiyasi.

8. Elektrostatiki induksiya nima?

9. Elektr maydoni va kuch chiziqlarini ta'riflang.

10. Ostrogradskiy- Gauss teoremasini tariflang va matematik ifodasini yozing.

3-mavzu. Elektrostatik maydondagi dielektriklar.

§9. Dielektriklarning turlari. Dielektriklarning qutblanishi.

Moddalar o'zlarining elektr o'tkazuvchanligiga qarab uch turga bo'linadi. Elektr tokini yaxshi o'tkazuvchi – o'tkazgichlar, umuman o'tkazmaydigan moddalar – dielektriklar va qisman o'tkazuvchilar (yarim o'tkazgichlar) ga bo'linadi.

Amalda erkin zaryad tashuvchilari bo'lmagan moddalar dielektriklar deyiladi. Dielektriklarda erkin zaryadlar bo'lmaydi desa bo'ladi. Dielektriklarning atomlari va molekulari ichida musbat va manfiy zaryadli zarrachalar o'zaro elektr kuchlari bilan bog'langan bo'ladi, amma bu bog'lanish mutloq qattiq bo'lmaydi, zarrachalar ularga qo'yilgan kuchlarning ta'siri ostida ma'lum darajada siljishi mumkin.

Har bir molekulaning manfiy va musbat zaryadlarining miqdori bir xil bo'lib, shuning uchun har qanday molekula, umuman olganda, zaryadsiz bo'ladi. Dielektriklar hajmining har qanday qismida musbat zaryad miqdori manfiy zaryad miqdoriga baravar bo'lib, bu zaryadlarning natijaviy ta'siri nolga teng bo'ladi. Agar dielektrik elektr maydoniga joylashtirilsa, dielektrik molekularining musbat va manfiy zaryadlariga qarama–qarshi yo'nalgan kuchlar ta'sir qila boshlaydi. Bu kuchlar ta'siri ostida har qaysi molekulaning zaryadlari maydon kuchlanganligi yo'nalgan tomonga qarab siljiydi. Maydon kuchlari molekularlarni cho'zadi va kuch chiziqlari bo'ylab joylashtiradi. Buning natijasida molekularlar ma'lum bir tartibda joylashib qoladi. Masalan: shisha, quruq yog'och, plastmassa, toza suv, havo va hokazo.

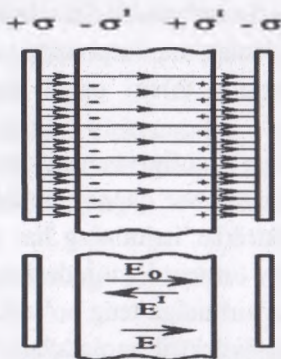


3.1-rasm. Qutblangan dielektikda molekularlarning joylashuvi.

Bunda ham dielektrning har qanday qismida elektr zaryadlarining yig'indisi nolga

teng bo'ladi. Amma dielektrik sirtlarining bir tomonida musbat, ikkinchi tomonida manfiy zaryadlar paydo bo'ladi. Maydonga kiritilgan dielektrikda zaryadlarning siljish jarayoni *qutblanish* deb, bu holatdagi dielektrikning o'zi esa *qutblangan dielektrik* deb ataladi.

Dielektrikning qutblanishi o'tkazgichning ta'sir orqali elektrlanishiga o'xshab ketadi. Biroq bu hodisalar orasida katta farq bor. O'tkazgichlarning elektrlanishi ularda erkin zaryadlarning borligidan bo'ladi. Agar ta'sir orqali zaryadlangan o'tkazgich elektr maydonida ikkiga bo'linsa, o'tkazgichning ikkala qismi ham bir-biriga qarama-qarshi zaryadlanib qoladi.

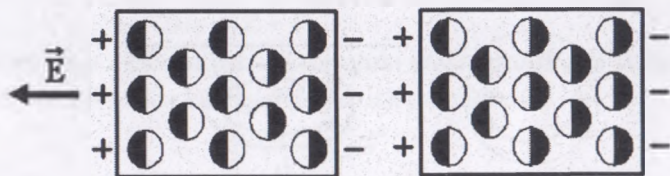


3.2-rasm. Dielektrikning qutblanish jarayoni

Maydon ta'siri to'xtatilgandan keyin ham zaryadlar o'tkazgichda ikkiga bo'linib qoladi. Dielektrlarda esa ahvol tamomila boshqacha boladi. Agar dielektrik elektr maydonida ikkiga bo'linsa, ikkala qismning yangidan hosil bo'lgan sirtlaridan birida musbat, ikkinchisida esa manfiy zaryadlar paydo bo'ladi (3.3-rasm). Qutblangan dielektrik sirtida paydo bo'ladigan zaryadlar *bog'langan zaryadlar* deb ataladi.

O'tkazgichlarda zaryadlar erkin bo'lib, dielektrlarda esa bog'langan bo'ladi; ularga elektr maydonining har xil ta'sir etishining sababi shu.

Dielektriklar ham boshqa moddalar qatori atom va molekulalardan tuzilgan. Moddadagi barcha yadrolarning musbat zaryadlari barcha elektronlarning zaryadlar yig'indisiga teng bo'lgani sababli molekula zaryad jihatdan zaryadsiz bo'ladi



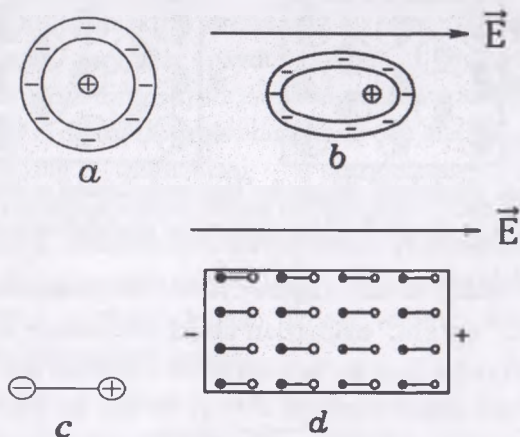
3.3-rasm. Dielektrik ikkiga bo'linganda unung uchlarida qarama-qarshi bo'lgan zaryadlar saqlanib qolad.

Agarda tashqi elektr maydon ta'siri bo'lmaganda musbat va manfiy zaryadlar "og'irlik" markazlari ustma-ust tushadi ya'ni zaryadlar orasida l masofa nolga teng bo'ladi, bu holda molekula dipol momenti P nolga teng bo'ladi (dipol momenti $P = ql$ bo'lib, bu yerda q – zaryad miqdori, l – zaryadlar massalari markazlari orasidagi masofa). Bunday dielektriklar molekullari **qutbsiz dielektriklar** deyiladi. Qutbsiz molekulaga ega bo'lgan dielektriklarga (N_2 , H_2 , O_2 , CO_2 , CH_4 , ...) lar kiradi. Tashqi elektr maydon ta'sirida qutbsiz molekulalarning zaryadlari qarama-qarshi tomonga siljiy boshlaydi va molekula dipol momentiga ega bo'la boshlaydi (3.4-rasm).

Tabiatda shunday guruh dielektriklar (H_2O , NH_3 , CO_2 , CO , ...) mavjudki ularning molekullari asimmetrik tuzilishga ega, ya'ni musbat va manfiy zaryadlarning "og'irlik" markazlari mos kelmaydi va dipol momentiga ega bo'ladi. Bunday dielektriklarning molekullari **qutblangan dielektriklar** deyiladi. Dielektrikni tashqi elektrostatik maydonga joylashtirilsa u qutblanadi, ya'ni maydon farq qiluvchi dipol momentiga ega bo'ladi (3.4-rasm). Dielektrik qutblanishini miqdoriy baholash uchun qutblanganlik vektor kattaligidan foydalaniladi. Qutblanganlik (P) elektr maydon kuchlanganligiga (E) to'g'ri chiziqli bog'lanishga egadir. Agarda dielektrik izotrop modda bo'lsa va E uncha katta bo'lmagan holda quyidagi formula o'rinli bo'ladi:

$$P = \chi \epsilon_0 E \quad (3.1)$$

Bunda χ – moddaning dielektrik kirituvchanligi bo'lib, dielektrik xossalarni xarakterlovchi o'lchamsiz kattalikdir. Masalan: spirt uchun $\chi \approx 25$ ga, suv uchun $\chi = 80$ ga teng. χ doimo musbat va $\chi > 0$ bo'ladi. Muhitning dielektrik singdiruvchanligi deb quyidagi o'lchamsiz kattalikka $\epsilon = 1 + \chi$ aytiladi va dielektrik ta'sirida maydon necha marta kuchsizlaganligini ko'rsatadi.



3.4-a, b, c, d rasm. Qutibsiz molekulalarning qutblanish jarayoni

3.4-rasmda qutbsiz molekulalardan tuzilgan dielektriklarning qutblanishi. a) qutbsiz molekula (atom), b) qutblangan molekula (atom), c) dipolli molekula (atom) va d) elektr maydoniga joylashtirilgan dielektrikning qutblanishi ko'rsatilgan, qora doirachalar bilan manfiy zaryadlar va oq doirachalar bilan musbat zaryadlar belgilangan.

§10. Elektr siljish vektori. Dielektrik singdiruvchanlik.

Gauss teoremasini ichida erkin q^{erk} va qutblangan zaryadlar q^{qutb} mavjud bo'lgan ixtiyoriy sirt uchun yozamiz:

$$\oint_S E_n dS = \frac{1}{\epsilon_0} \left(\sum_i q_i^{\text{erk}} + \sum_i q_i^{\text{qutb}} \right), \quad (3.2)$$

Formula (3.2) dan foydalanib, o'ngda turgan qutblangan zaryad ifodasini qutblanish vektori orqali yozamiz:

$$\oint E_n dS = \frac{1}{\epsilon_0} \left(\sum_i q_i^{\text{erk}} - \oint_S P_n dS \right), \quad (3.3)$$

ni chap tomonga o'tkazamiz va ikkala tomonini ϵ_0 ga ko'paytiramiz, natijada quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\oint (\epsilon_0 E_n + P_n) dS = \sum_i q_i^{\text{erk}}, \quad (3.4)$$

Bu tenglamaning chap tomonini yangi vektor orqali yozsak, ifoda (3.4) yana soddalashadi.

$$\mathbf{D} = \epsilon_0 \mathbf{E} + \mathbf{P}, \quad (3.5)$$

$\vec{D}$ vektorga elektr siljish vektori yoki *elektrostatik induksiya vektori* deyiladi va uni sodda ko'rinishda yozish mumkin:

$$\oint_S \mathbf{D}_n dS = \sum_i q_i^{\text{enk}}, \quad (3.6)$$

O'ng tomonda yopiq sirt S ichida joylashgan erkin zaryadlar qoladi, lekin chapda kuchlanganlik vektori oqimi o'rniga S sirtidan o'tuvchi siljish vektori oqimi turadi. Bu Gauss teoremasini umumiy integral ko'rinishidir.

Izotrop dielektriklar uchun qutblanish vektori kabi siljish vektori maydon kuchlanganligiga proporsionaldir, yani

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \epsilon_0 \chi \vec{E} = \epsilon_0 (1 + \chi) \vec{E}, \quad (3.7)$$

$\epsilon = 1 + \chi$ kattalikka moddaning nisbiy *dielektrik singdruvchanligi* deyiladi.

Hamma vaqt $\chi > 0$ bo'lgani uchun $\epsilon \geq 1$ katta, har qanday dielektrik uchun $(1 + \chi)$ ni hisobga olsak, $\mathbf{D}$ va $\mathbf{E}$ vektorlar o'rtasidagi bog'lanish, (3.8) formulaga ko'ra quyidagiga teng bo'ladi:

$$\vec{D} = \epsilon_0 \epsilon \vec{E}, \quad (3.8)$$

Elektr siljish vektori ham kuchlanganlik vektori singari fazoning har bir nuqtasida vektor maydonini hosil qiladi. (3.8) ga ko'ra fazoning har bir nuqtasida $\mathbf{D}$ va $\mathbf{E}$ vektorlarining yo'nalishi mos keladi. Shuning uchun $\mathbf{D}$ vektorning chiziqlari shakl jihatdan kuchlanganlik chiziqlari bilan mos keladi. $\mathbf{D}$ vektor chiziqlari uchun ham quyuqlik haqidagi shartni qo'llasak (chiziqlar soni son jihatdan $\mathbf{D}$ ning qiymatiga teng) biz ko'ramizki, $\mathbf{D}$ va $\vec{E}$ vektor chiziqlarining zichligi bir xil emasdir, ular bir-biridan $\epsilon_0 \epsilon$ ko'paytmaga farq qiladi.

$\mathbf{D}$ vektor chizig'ining eng muhim xossasi shundaki u nafaqat zaryadlangan jismlardan tashqarida, balki qutblangan zaryadlar bor joyda ham uzluksiz bo'ladi, ular faqat erkin zaryadlardagina uzulishga ega bo'ladi, ulardan boshlanadi va ularda tugaydi, u vaqtda kuchlanganlik vektori chiziqlari esa barcha zaryadlarda (ham erkin, ham qutblangan) uzilishga ega bo'ladi.

Vakuumning istalgan nuqtasida $\vec{P} = 0$ va $\mathbf{D} = \epsilon_0 \vec{E}$, ya'ni jismdan tashqarida siljish vektori ϵ_0 ko'paytgichga kuchlanganlik vektori bilan mos keladi. Dielektrik ichida $\mathbf{D}$ vektorning fizik ma'nosi quyidagi

teorema bilan aniqlanadi: *agar dielektrik bir jinsli bo'lsa va ekvipotensial sirtlar orasidagi fazoni butunlay to'ldirsa, u vaqtda dielektrikning ichida siljish vektori quyidagicha aniqlanadi:*

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E}^{\text{erk}}, \quad (3.9)$$

Siljish vektori ϵ_0 ko'paytichigacha faqat erkin zaryadlar hosil qilgan maydon kuchlanganligi bilan mos keladi. Dielektrik ichida esa maydon quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi.

$$\vec{E} = \frac{\vec{E}^{\text{erk}}}{\epsilon}, \quad (3.10)$$

Isbot qilish mumkinki, qutblangan zaryadlar dielektrik sirtida shunday taqsimlanadiki, ularning hosil qilgan maydoni dielektrik ichida noldan farq qiladi. Shuning uchun dielektrikni kiritish erkin zaryadlarning dastlabki taqsimlanishini o'zgartirmaydi, ularning maydoni (3.10) formula bo'yicha dielektrik kiritilgan E^{erk} maydonga tengdir. (3.10) formula shuni bildiradiki, ekvipotensial sirtlar orasidagi fazoni bir jinsli dielektrik bilan to'ldirilganda, bu sohada kuchlanganlik ϵ marta kamayadi.

$$\vec{E} = \frac{\vec{E}_0}{\epsilon}, \quad (3.11)$$

Bu yerda dielektrikning ichidagi istalgan ikkita nuqtasi orasidagi potentsiallar ayirmasi ham ϵ marta kamayadi.

§11. Muhitdagi elektr maydon uchun Gauss teoremasi. Pezoelektriklar, segnetoelektriklar va ularning texnikada qo'llanilishi.

Dielektrikning qutblanish darajasini miqdoriy jihatdan xarakterlash uchun qutblanish vektori deb nomlanuvchi fizik kattalik kiritiladi. Qutblanish vektori modda hajm birligidagi dipol momentlari yig'indisidir. Demak, agar kichik hajm ΔV (qandaydir nuqta atrofida) da molekulaning yig'indi dipol momentiga teng bo'ladi (bu yerda P_i -i-nchi molekulaning momenti, yig'indi ΔV hajmdagi barcha molekularlar bo'yicha olindi), bu vaqtda ta'rif bo'yicha qaralayotgan nuqtadagi qutblanish vektori $\vec{P}$ quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$\vec{P} = \frac{\sum_i \vec{P}_i}{\Delta V} \quad (3.12)$$

Maydonning xarakteriga va dielektrikning xossasiga qarab qutblanish dielektrikning turli nuqtalarida turlicha bo'lishi mumkin, boshqacha qilib aytganda, qutblanish vektori koordinataning funksiyasidir.

Nazariya va tajriba ko'rsatadiki, izotrop dielektriklar uchun (biz shunday dielektriklar bilan chegaralanamiz), uncha kuchli bo'lmagan maydonda qutblanish vektori $\vec{P}$ elektr maydon kuchlanganligiga $\vec{E}$ proporsionaldir:

$$\vec{P} = \chi \epsilon_0 \vec{E}, \quad (3.13)$$

Koeffisient χ - moddaning xossasiga va dielektrikning holatiga bog'liq bo'ladi va unga moddaning dielektrik qabul qiluvchanligi deyiladi. Dielektrik qabul qiluvchanlik turli xil modda uchun turlicha bo'ladi. Masalan, qutblangan molekuladan tashkil topgan dielektriklar uchun nazariya ko'rsatadiki, χ - temperatura (T) ga teskari proporsional:

$$\chi \sim 1/T$$

Qutblanmagan molekuladan tuzilgan dielektriklar uchun χ temperaturaga umuman bog'liq bo'lmaydi.

Shunday jismlar borki, ular uchun dielektrik singdiruvchanlik ϵ tashqi maydon kuchlanganligi E ga bog'liq bo'ladi. Bunday dielektriklar o'ziga xos xususiyatlarga ega bo'ladi, ayniqsa ferromagnetizm magnit xossasiga o'xshash bo'ladi. Bu xossalar birinchi marta segnet tuzida o'rganildi va shu tuzning nomi bilan **segnetoelektriklar** deb ataladi. Segnet tuzining fizik xossasi temperaturaga juda bog'liqdir, qandaydir kritik temperatura Θ dan past yoki yuqorida ularning xossasi butunlay boshqacha bo'ladi. $T > \Theta$ bo'lganda maydon kuchlanganligi bilan qutblanish o'rtasida proporsionallik saqlanadi: $\vec{P} = \chi \vec{E}$, bu vaqtda koeffisient χ ning temperaturaga bog'liqligi quyidagi qonunga bo'ysinadi:

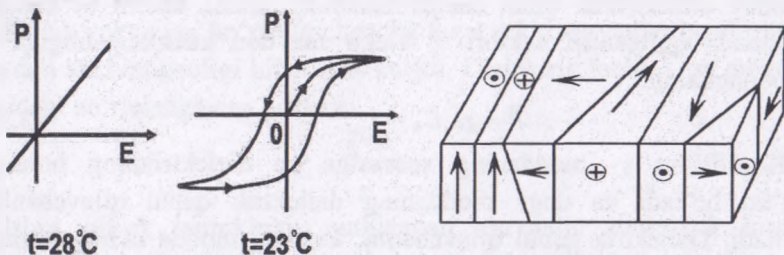
$$\chi(T - \Theta) = \text{const.}$$

$T < \Theta$ bo'lganda $\vec{P}$ va $\vec{E}$ o'rtasidagi proporsionallik buziladi. Bu vaqtda $\vec{P}$ ning $\vec{E}$ ga bog'lanishi murakkab bo'ladi (3.5-rasm).

Bu vaqtda $\vec{P}$ va $\vec{E}$ ning o'zgarishi $T < \Theta$ da sirtmoq shakliga o'xshash bo'ladi.

Tashqi elektr maydoni bo'lmaganda dielektrikning har bir nuqtasidagi musbat va manfiy zaryadlar kompensirlangan bo'ladi, zaryadning zichligi hamma yerda nolga teng. Dielektrikning elektr

maydonida qutblanishi zaryadlarning qayta taqsimlanishiga olib keladi, natijada dielektrik sirtida kompensirlanmagan zaryadlar paydo bo'ladi, bu zaryadlarga qutblangan zaryadlar yoki bog'langan zaryadlar deb aytiladi.



3.5-rasm. Segnetoelektrlarda P ning E ga bog'liqligi

SEGNETOELEKTRIKLAR VA PEZOELEKTRIKLAR.

Segnetoelektriklar deb, ma'lum harorat chegarasida spontan qutblanuvchanlikka, ya'ni tashqi maydon bo'lmaganda ham qutblanuvchanlikka ega bo'lgan dielektrlarga aytiladi. Segnetoelektrlarga misol qilib fiziklar I.B.Kurchatov va P.P.Kobeko o'rgangan segnet tuzi va titanat bariyni olish mumkin.

Tashqi elektr maydoni bo'lmagan holda segnetoelektrik domenlardan, ya'ni turli xil yo'nalishdagi qutblanuvchanliklar to'plamidan iboratdir. Bu holat titanat bariy uchun 3.5-rasmda keltirilgan. Bunda ko'rsatkich chiziqlar va $\odot$ hamda $\oplus$ belgilar $\vec{P}$ dipol vektorning yo'nalishini ko'rsatadi ($\odot$ — dipol vektorning yo'nalishi biz tomonga kelayapti, $\oplus$ — dipol vektorning yo'nalishi biz tomondan ketayapti). Qo'shni domenlarda bu yo'nalishlar turlicha bo'lganligi uchun umuman dielektrikning dipol moment nolga teng bo'ladi. Segnetoelektrik tashqi elektr maydoniga kiritilganda domenlarning maydon yo'nalishi bo'yicha joylashishi yuz beradi. Bu jarayon vaqtida hosil bo'lgan domenlarning yig'indi elektr maydoni ularning joylashuvini tashqi maydon olingandan so'ng ham saqlab turadi. Shu sababli segnetoelektriklar chiziqli bo'lmagan katta dielektrik singdiruvchanlikka ega bo'ladi (masalan segnet tuzi uchun 10^4).

Segnetoelektrik xususiyati haroratga kuchli bog'liqdir. Har bir segnetoelektrik uchun shunday harorat mavjudki, undan yuqori

haroratda uning maxsus xususiyati yo'qoladi va u oddiy dielektrik bo'lib qoladi. Bu haroratni Kyuri nuqtasi deyiladi. Odatda segnetoelektriklar bitta Kyuri nuqtasiga ega bo'ladi, ammo segnet tuzi va uning birikmalari bundan mustasno. Segnetoelektriklarning Kyuri nuqtasi yaqinida modda issiqlik sig'imining birdan o'sish holati ham kuzatiladi. Segnetoelektriklarning Kyuri nuqtasida oddiy dielektriklarga o'tishi ikkinchi tur faza o'tishi bilan boradi.

Segnetoelektriklarning dielektrik singdiruvchanligi moddadagi maydon kuchlanganligiga bog'liq bo'lib, boshqa dielektriklar uchun bu kattaliklar modda xususiyatidan iborat. Segnetoelektriklar uchun qutblanuvchanlik vektori va kuchlanganlik orasidagi bog'lanish chiziqli emas va maydon $\vec{E}$ ning lahzadagi qiymatlariga bog'liqdir, ya'ni ularda "gistrezis" hodisasi kuzatiladi. 3.5-rasmdan ko'rinadiki, $\vec{E}$ tashqi maydon kuchlanganligining oshishi bilan $\vec{p}$ qutblanuvchanlik oshib boradi va to'yinadi. $\vec{E}$ ning qiymati kamayishi bilan P ning kamayishi

2-chiziq orqali bo'ladi va $\vec{E} = 0$ bo'lganda ham segnetoelektrik P_0 qoldiq qutblanuvchanlikka ega bo'ladi, ya'ni segnetoelektrik tashqi maydon bo'lmaganda ham qutblangan holda qoladi. Qoldiq qutblanuvchanlikni tugatish uchun asosiy maydonga teskari bo'lgan maydon qo'yish zarur bo'ladi. E kattalikka koersitiv kuch deyiladi. Shundan so'ng E o'zgartirilsa P gistrezis halqasining 3-chizig'i bo'ylab o'zgaradi. Segnetoelektriklarni jadal o'rganish rus olimi G.M.Vul tomonidan titanat bariydagi dielektrik singdiruvchanlikning anomal o'zgarishlarini ochishga olib keldi. Titanat bariyning kimyoviy jihatdan va mexanik jihatdan mustahkam bo'lishi, hamda uning keng harorat oralig'ida segnetoelektrik xususiyatini saqlashi katta ilmiy-texnik qo'llanishlarga sabab bo'ldi. Hozirgi vaqtda 100 dan ortiq segnetoelektriklar mavjuddir. Segnetoelektriklar dielektrik singdiruvchanligi juda katta bo'lgan materiallar sifatida ham keng qo'llaniladi. Hattoki tashqi elektr maydoni bo'lmagan holda ham ba'zi yo'nalishlari bo'ylab siqilganda yoki cho'zilganda elektr qutblanuvchanlik yuzaga keladigan kristall moddalar – pezoelektriklar ham mavjuddir. To'g'ri pezoeffektning oqibati teskari pezoeffekt hodisasidir, ya'ni elektr maydoni ta'sirida mexanik deformatsiya vujudga kelishi. Termodinamik muvozanatda bazi pezoelektriklar

panjarasidagi musbat ionlar manfiy ionlar panjarasiga nisbatan siljigan bo'ladi, natijada ular tashqi elektr maydoni bo'lmagan holda ham qutblangan bo'ladi. Bunday kristallarga *piroelektriklar* deyiladi. Bundan tashqari elektrodlar, ya'ni tashqi elektr maydonini olgandan so'ng uzoq vaqt qutblangan holatini saqlovchi dielektriklar ham mavjuddir. Bu moddalar texnika va maishiy qurilmalarda keng qo'llanilmoqda.

Mavzu yuzasidan testlar

1. Elektr dipol momentining formulasi qaysi.

A) $P = q/l$ B) $P = q + l$ C) $P = q - l$ D) $P = q \cdot l$

2. Zaryadlanmagan qalin sferik dielektrik qatlamning markaziga zaryadlangan sharcha joylashtirildi. Elektr maydoni qayerda mavjud bo'lmaydi?

A) Elektr maydoni bo'lmaydigan soha yo'q; B) Faqat sfera tashqarisida;

C) Dielektrik qatlami ichida; D) Sfera ichida va tashqarisida

3. Ekvipotensial sirtlar elektrostatik maydoni kuchlanganlik chiziqlariga nisbatan qanday joylashadi?

A) Perpendikulyar; B) Parallel; C) Ixtiyoriy burchak ostida; D) Ekvipotensial sirtlarning joylashuvi kuchlanganlik chiziqlari bilan bog'lanmagan.

4. Dielektrik elektrostatik maydonga kiritilsa, qanday hodisa ro'y beradi?

A) dielektrik qutblanadi va tashqi maydonni kuchaytiradi;

B) dielektrik qutblanadi va uning ichidagi maydon kuchlanganligi nolga teng bo'ladi;

C) dielektrik qutblanadi va tashqi maydonni susaytiradi;

D) dielektrik qutblanadi va uning ichidagi maydon kuchlanganligi tashqi maydon kuchlanganligiga teng bo'ladi.

5. Dipolning elektr momenti ($\vec{P}$) va unga bir jinsli elektr maydoni tomonidan ta'sir qiladigan kuch momenti (M) ifodalarini aniqlang:

A) $\vec{P} = q\vec{l}$ va $\vec{M} = [\vec{P} \cdot \vec{E}]$; B) $\vec{P} = \frac{i}{q}$ va $M = PE$;

C) $P = ql$ va $M = PE/\cos \alpha$; D) $P = ql \cos \alpha$ va $M = PE \cos \alpha$.

6. Qutbli molekulalardan tuzilgan dielektrik bir jinsli elektr maydonga kiritilsa, nima bo'ladi?

- A) dipollar maydon bo'ylab siljiydi;
- B) dipollar maydonga qarshi yo'nalishda siljiydi;
- C) dipollar asosan maydon yo'nalishida joylashadi;
- D) dipollar asosan maydon yo'nalishiga tik joylashadi.

7. Elektr induksiyasi ($\vec{D}$), kuchlanganligi ($\vec{E}$) va qutblanish ($\vec{P}$) vektorlari orasidagi bog'lanishni aniqlang:

- A) $\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$; B) $\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} - \vec{P}$;
- C) $\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E}$; D) $\vec{P} = \vec{D} + \epsilon_0 \vec{E}$.

8. Ikki nuqtaviy zaryadning o'zaro ta'sir kuchi vakuumda F ga teng. Bu kuchni qanday yo'l bilan 81 marta kamaytirish mumkin:

- A) Zaryadlarni suvga joylashtirish bilan;
- B) Zaryadlar orasidagi masofani 9 marta kamaytirish bilan;
- C) Zaryadlar kattaligini 81 martadan kamaytirish bilan;
- D) Zaryadlar orasidagi masofani 81 marta oshirish bilan.

9. Havo oraliqli yassi kondensator zaryadlangach tok manbaidan uzildi. Agar shu kondensator qoplamalari oralg'i dielektrik bilan to'ldirilsa, qoplamalari orasidagi elektr maydoni kuchlanganligi qanday o'zgaradi:

- A) Dielektrik kiritish jarayonida kamayadi, so'ng oshadi;
- B) Oshadi;
- C) O'zgarmaydi;
- D) Kamayadi.

10. Havo oraliqli yassi kondensator qoplamalari orasiga dielektrik (shisha, $\epsilon=6$) kiritilsa, ular orasidagi potensiallar ayirmasi qanday o'zgaradi:

- A) 6 marta kamayadi;
- B) 6 marta oshadi;
- C) O'zgarmaydi;
- D) 3 marta kamayadi.

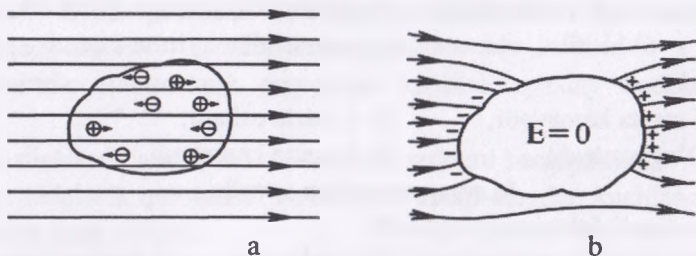
Mavzu yuzasidan savollar

1. Elektr dipoli deb nimaga aytiladi?
2. Dielektrik singdiruvchanlikni fizik mohiyatini yozib tushuntiring.
3. Dielektrikning qutblanish hodisasi nima?
4. Elektr induksiya vektori qanday aniqlanadi va u nimani xarakterlaydi?
5. Elektr dipoli.
6. Gauss teoremasi.
7. Ekvipotensial sirtlar.
8. Erkin va bog'langan zaryadlar.
9. Dielektriklarning tuzilishi.
10. Qutblanish turlari. Qutblanish vektori.
11. Segnetoelektriklar va ularning boshqa dielektriklardan farqi nima?

4-mavzu. Elektrostatik maydondagi o'tkazgich.

§12. Elektr maydonga kiritilgan o'tkazgichdagi zaryadlarning taqsimlanishi. Elektrostatik induksiya qonuni. Elektr sig'imi.

Agar neytral o'tkazgich tashqi elektrostatik maydonga joylashtirilsa, uning zaryadlariga elektr maydon ta'sir qiladi va ular harakatga keladi. Zaryadlarning ko'chishi zaryadlar taqsimotida muvozanat vaziyati yuzaga kulguncha davom etadi (4.1-a,b rasm). Bu holda o'tkazgich ichidagi elektrostatik maydon nolga teng bo'ladi. Agar shunday bo'lmaganda edi, tashqi maydon ta'sir qilmasa ham zaryadlar ko'chishi va tok oqishi hosil bo'lar edi. Demak, elektr maydon kuchlanganligi o'tkazgich ichidagi hamma nuqtalarda $E = 0$ bo'ladi. O'tkazgich ichida maydonning yo'qligi uning hamma nuqtalarida potensial bir xil bo'lishini ko'rsatadi ($\varphi = const$), ya'ni elektrostatik maydonda o'tkazgich sirti ekvipotensial sirt hisoblanadi. Bu esa maydon kuchlanganligi vektorining yo'nalishi o'tkazgich sirtiga normal (perpendikulyar) bo'lishini ko'rsatadi. Agar shunday holat bo'lmasa, zaryadlar maydon ta'sirida harakatga kelar edi.



4.1-a'b rasm. O'tkazgichlar elektr maydonida

O'tkazgich ikki uchi ikki ishorali zaryadlanib qoladi, demak, neytral o'tkazgich elektrostatik maydonga kiritilsa, kuchlanganlik chiziqlari uziladi. Induksiyalangan zaryadlar tashqi sirtida taqsimlanadi. Sirt zaryadlarining tashqi elektrostatik maydonda qayta taqsimlanish hodisasi **elektrostatik induksiya hodisasi** deyiladi. Sirt yaqinida maydon kuchlanganligi quyidagicha ifodalanadi.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0 \epsilon} \quad (4.1)$$

bu yerda ϵ_0 – elektr doimiysi, ϵ – o'tkazgichni o'rab turuvchi muhit dielektrik singdiruvchanligi, σ – zaryadlar sirt zichligi. Zaryadlar sirt zichligi deb yuza birligiga mos kelgan zaryad miqdoriga aytiladi, ya'ni $\sigma = \frac{q}{S}$ (birligi – $1C/m^2$). Zaryadlar hajmiy zichligi deb V hajm birligiga mos kelgan zaryad miqdoriga aytiladi, ya'ni $\sigma = \frac{q}{V}$ (birligi – $1C/m^3$). Zaryadlar chizig'iy zichligi deb l yzunlik birligiga mos kelgan zaryad miqdoriga aytiladi, ya'ni $\sigma = \frac{q}{l}$ (birligi – $1C/m$). O'tkazgich ichida maydon nol bo'lishi elektrostatik himoyada qo'llaniladi.

Elektr sig'imi. O'tkazgichning barcha nuqtalarida potensial bir xil bo'lgani uchun, o'tkazgichning potentsiali haqida gapiriladi. Nazariya va tajriba ko'rsatadiki, o'tkazgichning potentsiali φ o'tkazgichning zaryadiga to'g'ri proporsionaldir:

$$\varphi = \frac{1}{C} q \quad (4.2)$$

bu yerda, $\frac{1}{C}$ – proporsionallik koeffitsienti. Demak, zaryadning potentsialga nisbati berilgan o'tkazgich uchun doimiy kattalikka tengdir va uni o'tkazgichning **elektr sig'imi** deyiladi:

$$C = \frac{q}{\varphi} \quad (4.3)$$

Sig'im o'tkazgichning geometrik xossasiga bog'liqdir (o'lchami va shakliga), lekin materialiga bog'liq emas. (17.1) formulaning ikkala qisminidagi kattaliklarni ozgina orttirsak, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$C = \frac{\Delta q}{\Delta \varphi} \quad (4.4)$$

Bu yerdan sig'imning fizik ma'nosi kelib chiqadi: u son jihatdan o'tkazgichning potentsialini bir birlikka oshirish uchun kerak bo'lgan zaryadga tengdir. Sig'imning o'lchov birligi XB sistemasida "farada".

Yakkalangan o'tkazgich sharning sig'imini hisoblaymiz: ma'lumki

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{R} \quad (4.5)$$

bu yerda, q - sharning zaryadi, R - radiusi.

Bu ifodani $C = \frac{q}{\varphi}$, ga qo'ysak quyidagi ifoda kelib chiqadi:

$$C = 4\pi\epsilon_0 R, \quad (4.6)$$

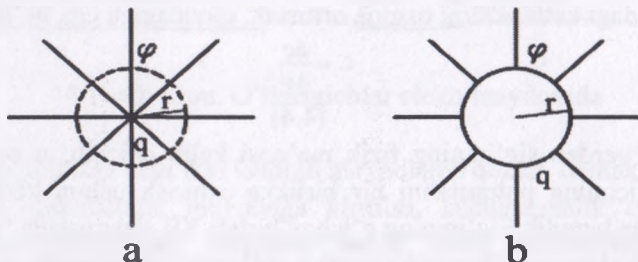
Sig'imi 1 farada bo'lgan sharning radiusi $R = (1/4\pi\epsilon_0) = 9 \cdot 10^9$ m. Bu yer radiusidan 1500 marta kattadir. Shuning uchun amaliyotda boshqa o'lchov birliklar - mikrofarada ($1 \text{ mkf} = 10^{-6} \text{ f}$) va pikofarada ($1 \text{ pkf} = 10^{-12} \text{ f}$) qo'llaniladi.

§13. Kondensatorlar. Kondensatorlarni ketma-ket va parallel ulash. Elektr zaryadlarining o'zaro ta'sir energiyasi.

Yakkalangan o'tkazgichning elektr maydon potentsiali unga berilgan zaryad miqdoriga to'g'ri proporsionaldir, ya'ni $\varphi \sim q$. Agar proporsionallikdan tenglikka o'tsak, u holda $q = C \cdot \varphi$. Bu yerda C - yakkalangan o'tkazgich elektr sig'imi. Elektr sig'imi yoki sig'im deb o'tkazgichning potentsialini bir birlikka oshirish uchun berilishi zarur bo'lgan zaryad miqdoriga aytiladi, ya'ni

$$C = \frac{q}{\varphi} \quad (4.7)$$

Elektr sigimi C ning birligi farada (F) qabul qilingan. 1 Farada deb, o'tkazgichga 1 Kulon zaryad miqdori berilganda uning potentsiali 1 voltga o'zgaradigan o'tkazgich elektr sig'imiga aytiladi. O'tkazgichning elektr sig'imi uning o'lchamlari va shakliga bog'liq bo'lgan muhim elektr kattalikdir. Biroq, bunday deyish faqat yakkalangan o'tkazgichlar uchun o'rinli bo'ladi.



4.2-a, b rasm. Yakkalangan nuqtaviy va o'tkazgich sharning maydoni

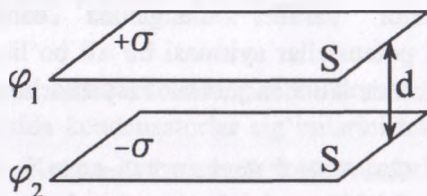
Farada sig'imning haddan tashqari katta birligidir. Shuning uchun ko'pincha mikrofarada (mkF), nanofarada (nF) pikofarada (pF) va

hokazalardan foydalaniladi ya'ni $1\text{mkF} = 10^{-6}\text{F}$, $1\text{nF} = 10^{-9}\text{F}$, $1\text{pF} = 10^{-12}\text{F}$. 4.2.-a, b rasmda kuch chiziqlari yordamida yakkaalangan nuqtaviy q zaryadning (a) va yakkaalangan o'tkazgich q zaryadli r radiusli sharning (b) elektor maydonlari tasvirlangan. Nuqtaviy zaryaddan va sharning markazidan $\geq r$ masofada bu maydonlar mutlaqo bir xil ekan. Shuning uchun radiusi r va sig'imi C bo'lgan shar sirtining potentsiali nuqtaviy zaryaddan r masofada bo'lgan ekvipotensial sirtning potentsialiga teng ekan. U holda

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

hundan $C = 4\pi\epsilon_0 r$ (4.8)

Binobarin, radiusi $9 \cdot 10^6 \text{ km}$ bo'lgan yakkaalangan o'tkazgich sharning sig'imi 1φ bo'lar ekan. Bu sig'imning haddan tashqari katta birligidir. Shuning uchun texnikada amalda dielektriklar bilan ajratilgan o'tkazgichlardan tuzilgan elektr tizim kondensator deb ataladigan qurilmalar ishlatiladi.



4.3-rasm. Yassi kondensatorning ko'rinishi

Bunday tizim o'lchami kichik bo'lganda ham sig'imi katta bo'ladi. Eng sodda kondensator yupqa dielektrik qatlami bilan ajratilgan ikkita parallel metall qoplamalardan tuzilgan (4.3-rasm) bo'ladi va bu qoplamalarga kattalik jihatdan teng bo'lgan turli ishorali zaryadlar beriladi. Yassi kondensatorning sig'imini quyidagi formula orqali ifodalash mumkin:

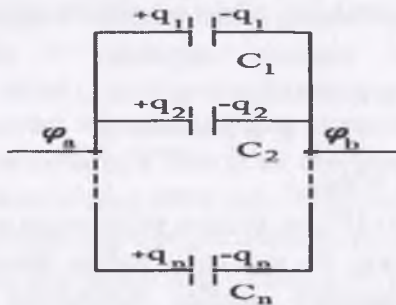
$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d} \quad (4.9)$$

bu yerda d — kondensator qoplamalari orasidagi masofa, S — har bir qoplamaning yuzi, ϵ — qoplamalar orasidagi muhitning dielektrik singdiruvchanligi.

Ba'zan kerakli sig'imni hosil qilish maqsadida kondensatorlar bir-biriga ulanib, kondensatorlar tizimi hosil qilinadi. Kondensatorlarni

o'zaro parallel (4.4-rasm) va ketma-ket ulash (4.5-rasm) usullari mavjud.

Kondensator parallel ulanib, kondensatorlar tizimi hosil qilinganida har bir kondensatorni musbat va manfiy zaryadlangan qoplamalari mos ravishda o'zaro ulanadi.



4.4-rasm. Kondensatorlarni parallel ulash

Kondensator parallel ulanganida barcha kondensatorlar qoplamalaridagi potentsiallar ayirmasi bir xil bo'lib, tizimning umumiy zaryadi q_{um} alohida kondensatorlar zaryadlarining yig'indisiga teng bo'ladi:

$$q_{um} = q_1 + q_2 + \dots + q_n. \quad (4.10)$$

Bundan

$$q_{um} = C_{um}(\varphi_1 - \varphi_n), q_1 = C_1(\varphi_2 - \varphi_1), q_2 = C_2(\varphi_3 - \varphi_2), \dots, q_n = C_n(\varphi_n - \varphi_{n-1}), \text{ bo'lganidan:}$$

$$C_{um}(\varphi_1 - \varphi_n) = C_1(\varphi_2 - \varphi_1) + C_2(\varphi_3 - \varphi_2) + \dots + C_n(\varphi_n - \varphi_{n-1}) \quad (4.11)$$

ko'rinishda yozilib, bundan

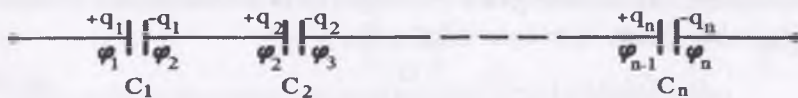
$$C_{um} = C_1 + C_1 + \dots + C_n = \sum_i^n C_i \quad (4.12)$$

kelib chiqadi. Bu yerda $i = 1, 2, 3, \dots, n$.

Shunga asosan, parallel ulangan kondensatorlar tizimining elektr sig'imi har bir kondensator elektr sig'implarining algebraik yig'indisiga teng bo'ladi. Parallel ulangan kondensatorlarning umumiy sig'imi alohida kondensatorlarning sig'imidan katta bo'ladi.

Kondensatorlarni ketma-ket ulashda oldingi kondensatorning zaryadlangan qoplamasi keyingisini musbat zaryadlangan qoplamasi bilan ulanib, kondensatorlar tizimi hosil qilinadi. Bunda kondensator

qoplamalaridagi zaryad miqdori jihatidan q ga teng bo'ladi va bir xil bo'ladi,



4.5-rasm. Kondensatorlarni ketma-ket ulash

$$q_{um} = q_1 = q_2 = q_3 = \dots = q_n. \quad (4.13)$$

Kondensator qoplamalaridagi potentsiallar ayirmasi esa

$$\varphi_{um} = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \dots + \varphi_n = \sum_{i=1}^n \varphi_i \quad (4.14)$$

ga teng bo'ladi, bunda $i = 1, 2, 3, \dots$,

$$\varphi_{um} = \frac{q}{C_{um}}, \varphi_1 = \frac{q}{C_1}, \varphi_2 = \frac{q}{C_2}, \varphi_3 = \frac{q}{C_3}, \dots, \varphi_n = \frac{q}{C_n} \quad (4.15)$$

ga teng bo'lganidan:

$$\frac{1}{C_{um}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i} \quad (4.16)$$

kelib chiqadi.

Bu ifodaga asosan, ketma-ket ulangan kondensatorlarni tizimining umumiy sig'imi alohida kondensatorlar sig'imlarini teskari ifodasining yig'indisiga tengdir. Ketma-ket ulangan kondensatorlarning umumiy sig'imi alohida ulangan kondensatordarni eng kichik sig'imidan ham kichik bo'ladi. Sig'imni kamaytirish maqsadida kondensatorlar ketma-ket, orttirish maqsadida esa parallel ulanadi.

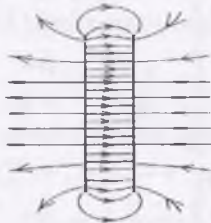
§14. Zaryadlangan o'tkazgichlar tizimining energiyasi.

Zaryadlangan kondensatorlar energiyaga ega bo'ladi. Bunga ishonch hosil qilish uchun kondensatorga razryadlanishga imkon beramiz. Buning uchun plastinkalarni o'tkazgich bilan qo'shamiz. Zaryadsizlanish vaqtida o'tkazgich bo'yicha elektr toki o'tadi, elektr maydoni zaryadni ko'chiradi, ish bajaradi va unga teng miqdorda atrofga issiqlik ajralib chiqadi. Bu ishini hisoblaymiz.

Zaryadsizlanish vaqtida plastinkadagi kuchlanish U ga teng bo'lsa, mos ravishda plastinkadagi zaryad $q=CU$ ga teng. Qisqa vaqt ichida bitta plastinkadan ikkinchi plastinkaga $\Delta q=CA\Delta U$ zaryad oqib o'tadi. Elektrostatik kuchlarning zaryadni ko'chirishda bajaragan ishi

$\Delta A = U \Delta q = -UC \Delta U$ ga teng (manfiy ishora musbat ish kuchlanish kamayganda bajariladi, ya'ni $\Delta A > 0$, bu esa $\Delta U < 0$ ga mos keladi). Kondensator zaryadsizlanganda bajarilgan to'la ish kuchlanish U - dan 0 gacha kamayganda bajarilgan ishga teng:

$$A = \int_0^U (-CU dU) = -C \int_U^0 U dU = \frac{CU^2}{2}, \quad (4.17)$$



4.6-rasm. Yassi kondensatorda kuch chiziqlari

$U = \frac{q}{C}$ ekanini hisobga olsak, ishni $A = \frac{q^2}{2C}$ ko'rinishda yozish mumkin. Nihoyat, C va U lar o'rniga ularning boshqa qiymatlarini qo'ysak, quyidagi kelib chiqadi:

$$A = \frac{CU^2}{2} = \frac{\epsilon_0 S E^2 d^2}{2} = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2} V \quad (4.18)$$

bu yerda V - kondensator hajmi. Energiyaning saqlanish qonuniga ko'ra, kondensator zaryadsizlanganda bajarilgan ish zaryadlangan kondensator ega bo'lgan energiyani ifodalaydi. Shunday qilib zaryadlangan kondensator energiyasi W uchun quyidagi formula yoziladi:

$$W = \frac{CU^2}{2} = \frac{q^2}{2C} = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2} V \quad (4.19)$$

Elektromagnetizmning umumiy nazariyasidan kelib chiqadiki, elektr maydon energiyaga ega bo'ladi. Xususiyl holda, zaryadlangan kondensatorning energiyasi uning elektr maydon energiyasidir. Fazoda energiyaning taqsimlanishini aniqlash uchun maydon energiyasining zichligi tushuncha kiritiladi va u quyidagicha aniqlanadi:

$$\omega = \frac{\Delta W}{\Delta V} \quad (4.20)$$

bu yerda ΔV - qarayotgan nuqta atrofidagi kichik hajm, ΔW - shu hajmida berilgan elektr maydon energiyasi. Kondensatorning elektr maydoni chegaraviy effektlarni hisobga olmaganda qoplamalar orasidagi

fazoda to'planadi va bir jinslidir, shuning uchun maydonning energiya zichligi qoplamalar orasidagi barcha nuqtalarda bir xil va maydon to'la energiyaning fazo hajmi V ga nisbatiga teng bo'ladi:

$$\omega = \frac{W}{V} = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2} \quad (4.21)$$

Elektromagnetizmning umumiy nazariyasida ko'rsatilganidek, elektrostatik maydon energiyasi zichligi uchun yozishimiz mumkin:

$$\omega = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2}$$

Bu ifoda barcha elektr maydonlari uchun o'rinlidir.

§15. Zaryadlangan kondensator energiyasi. Elektrostatik maydon energiyasi va uning zichligi.

Kondensator energiyasini uning qoplamalari orasidagi elektr maydonni xarakterlovchi kattaliklar orqali ifodalaylik. Bu energiya kondensator qoplamalari orasidagi fazoda bir tekis taqsimlangan bo'ladi.

$$W = \frac{CU^2}{2} = \frac{\epsilon_0 \epsilon S U^2}{2d} = \frac{\epsilon_0 \epsilon}{2} \left(\frac{U}{d}\right)^2 S d \quad (4.22)$$

bundagi $\frac{U}{d} = E$ – qoplamalar orasidagi maydon kuchlanganligi va

$sd = V$ – qoplamalar orasidagi fazoning hajmi ekanini inobatga olsak

$$W = \frac{\epsilon_0 \epsilon}{2} E^2 V \quad (4.23)$$

$W = \frac{\epsilon_0 \epsilon}{2} E^2 V$ hajmiga to'g'ri kelgan ulushini energiyaning zichligi deyiladi:

$$w = \frac{W}{V} = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2} \quad (4.24)$$

Demak, elektrostatik maydon energiyaga ega bo'lar ekan. U holda energiyaning manbai nima? Zaryadmi? Yoki ular hosil qilgan elektr maydonimi? Bu savollarga faqat elektrostatik maydon bilan tanishib javob berish mumkin emas. Chunki, elektrostatik maydon uni hosil qilgan zaryadlardan ajralgan holda yashay olmaydi. Tajriba va nazariy tadqiqotlarning natijalariga ko'ra o'zgaruvchan elektr maydon o'zgaruvchan magnit maydoni bilan birgalikda ularni hosil qilgan maydon manбайдan ajralgan holda ham yashay oladi. Bu erda kondensator qoplamalari orasidagi maydon haqiqatdan ham elektr maydoniga tegishli ekanini qayd etishimiz lozim.

Energiyaning ifodasi o'zgaruvchan maydon uchun ham o'rinni. Uni elektr maydon kuchlanganligi va elektr induksiya vektori orqali ham ifodalash mumkin.

$D = \epsilon \epsilon_0 E$ bo'lgani uchun

$$W = \frac{\epsilon_0 \epsilon E}{2} = \frac{DE}{2} \quad (4.25)$$

yoki

$$W = \frac{D^2}{2\epsilon_0 \epsilon} \quad (4.26)$$

Izotropik muhitlarda $\vec{E}$ va $\vec{D}$ bir tomonga yo'nalgan vektor kattaliklar va $\vec{D} = (\epsilon_0 \vec{E} + \vec{P})$ ekanini inobatga olib energiya zichligini quyidagicha yozish mumkin:

$$W = \frac{\vec{E} \vec{D}}{2} = \frac{\vec{E}(\epsilon_0 \vec{E} + \vec{P})}{2} = \frac{\epsilon_0 \vec{E}^2}{2} + \frac{\vec{E} \vec{P}}{2} \quad (4.27)$$

Bundagi birinchi qo'shiluvchi $\vec{E}$ maydon energiyasining vakuumdagi zichligiga, ikkinchi qo'shiluvchi esa dielektrikning qutblanish energiyasiga mos keladi.

Mavzu yuzasidan testlar

1. Elektrostatik maydon potensial formulasi va o'lchov birligi qaysi.

A) $\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2}; V$ B) $\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r}; V$ C) $\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{r}; F$

D) $\varphi = \frac{q^2}{4\pi} \frac{q}{r^2}; V$

2. Elektr sig'imi va uning o'lchov birligi.

A) $c = \frac{\varphi}{q}; F$ B) $c = \frac{q}{\varphi}; F$ C) $s = q \cdot \varphi; A$ D) $c = \frac{2q}{\varphi}$

3. Yassi kondensator sig'imining formulasi.

A) $c = \frac{S}{d}$ B) $c = \frac{\epsilon \cdot d}{S}$ C) $c = \frac{\epsilon \cdot S}{d}$ D) $s = \epsilon \cdot S \cdot d$

4. Shar shakldagi kondensatorning sig'imining formulasi.

A) $c = 4\pi\epsilon\epsilon_0 r$ B) $c = 4\pi\epsilon_0 \epsilon r$ C) $c = \pi\epsilon\epsilon_0 r$
D) $c = \frac{\pi\epsilon\epsilon_0}{r}$

5. Agar kondensator 1,4 V kuchlanishgacha zaryadlanganda u 28 nC zaryad bolsa, shu kondensatorning sig'imi qancha?

A) 30 nF B) 25 nF C) 40 nF D) 20 nF

6. Zaryadlangan kondensatorning energiyasining formulasi topilsin.

A) $W = \frac{q}{2c}$ B) $W = \frac{q^2}{2S}$ C) $W = \frac{q^2}{2c}$ D) $W = \frac{q \cdot c}{2}$

7. Elektrostatik maydon energiyasining formulasi ko'rsatilsin.

$$A) W = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2}$$

$$B) W = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2} \cdot d$$

$$C) W = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2} S \cdot d$$

$$D) W = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2} \cdot S$$

8. Elektrostatik maydon energiyasining hajmiy zichligining formulasi.

$$A) \omega = \frac{\epsilon \epsilon_0 E}{2}$$

$$B) \omega = \frac{\epsilon \epsilon_0 E^2}{2}$$

$$C) \omega = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{2}$$

$$D) \omega = \frac{\epsilon \epsilon_0 d}{2}$$

9. Zaryadlangan R radiusli shar ichida ($r \leq R$) va tashqarisida ($r > R$) potensialni hisoblaydigan ifodalarni (φ_1 va φ_2) aniqlang ($k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$).

$$A) \varphi_1 = k \frac{q}{\epsilon R} \text{ va } \varphi_2 = k \frac{q}{\epsilon r};$$

$$B) \varphi_1 = 0 \text{ va } \varphi_2 = k \frac{q}{\epsilon r};$$

$$C) \varphi_1 = 0 \text{ va } \varphi_2 = k \frac{q}{\epsilon R};$$

$$D) \varphi_1 = k \frac{q}{\epsilon R} \text{ va } \varphi_2 = 0.$$

10. Turli sig'imli kondensatorlar o'zaro qanday ulanganda, ulardagi kuchlanishlar (potensiallar ayirmasi) bir xil bo'ladi?

A) Parallel; B) Ketma-ket; C) Aralash; D) Bunday ulash turi yo'q..

Mavzu yuzasidan savollar

1. Ekvipotensial sirt deb qanday sirtga aytiladi?

2. Elektr maydonining potentsiali va kuchlanganligi qanday qanday bog'langan

3. Elektrostatik induksiya hodisasini ta'riflang.

4. Elektr sig'imini izohlang.

5. Kondensator deb qanday qurilmaga aytiladi?

6. Kondensatorlar turlari va ularning ishlatilish sohalarini ayting

7. Kondensatorlarni parallel va ketma-ket ulashni tushuntiring.

8. Elektrostatik maydon energiyasini va uning zichligini tushuntiring

9. O'tkazgichning elektr sig'imi va uni ifodalovchi formulani hamda o'lchov birligini keltirib chiqaring.

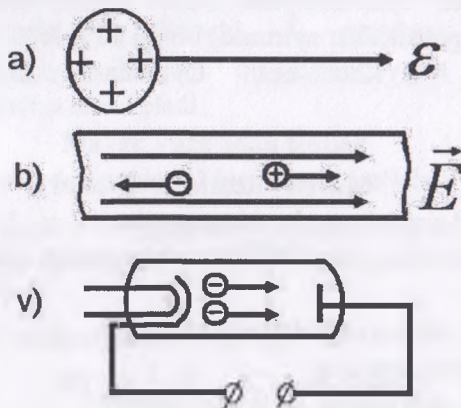
10. Elektrostatik maydon energiyasi va uning zichligini tushuntiring.

O'zgarmas elektr toki.

5-mavzu. O'ZGARMAS TOK QONUNLARI.

§16. O'tkazgichlardagi elektr toki. Elektr tokining mavjud bo'lish shartlari.

Elektr toki deb, elektr zaryadlarining tartibli harakatiga aytiladi. Elektr tokiga berilgan bu ta'rif bir tomonlama bo'lib elektr tokining umumiylikini hisobga olmaydi. Elektr tokini hosil qilishning turli xil hollari bo'lishi mumkin. Masalan, qandaydir jismni zaryadlaymiz, ya'ni unga elektr zaryadi beramiz va uni fazoda ko'chiramiz. Bu vaqtda elektr zaryadi makroskopik jism bilan birga harakat qiladi (5.1a-rasm). Bunday tokka konveksion tok deb ataladi.



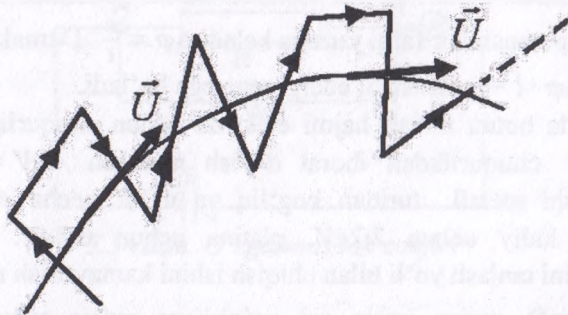
5.1- rasm. O'tkazgichda elektr toki

Endi tashqi elektr maydonida joylashgan o'tkazgichni qaraylik (5.1.b-rasm) O'tkazgich ichida joylashgan elektr zaryadining harakati quyidagicha bo'ladi: musbat zaryadlar maydon bo'yicha, manfiy zaryadlar esa maydonga qarama-qarshi harakatlanadi. Bunday mikroskopik zaryadning hosil qilgan tokiga o'tkazuvchanlik toki deb ataladi. Ma'lumki, elektron lampada (5.1.v-rasm) mikroskopik elektr zaryadlarining bo'shliqdagi harakati tufayli elektr tokini hosil qiladi. Bunday tokka vakuumdagi tok deb aytiladi.

Sizga ma'lumki, elektromagnit induksiya hodisasidan berik konturda hosil bo'lgan tokka induksion tok deb aytilgan edi. Bu yerda induksion tokning paydo bo'lishi o'tkazgichdagi erkin elektronning kristall panjarada mahkamlangan musbat zaryadga nisbatan harakati tufayli paydo bo'ladi. Xuddi shuningdek, ferromagnitlarda magnitlanish toki haqida ham gapiriladi.

Yuqorida keltirilgan misollar elektr tokiga umumiy ta'rif berishi kerakligini taqqazo etadi. Elektr toki deb, moddadagi musbat va manfiy zaryadlarning, elektronlar va teshiklarning, spinlarning tashqi ta'sir natijasidagi harakatiga aytiladi.

Biz texnik jihatdan juda ko'p qo'llanishga ega bo'lgan o'tkazuvchanlik tokining qonunlarini qarab chiqamiz. Elektr tokini o'tkazadigan moddalarga o'tkazgich deyiladi. O'tkazgichning asosiy belgisi unda zaryadlangan zarracha-tok tashuvchilarning bo'lishidir, ya'ni tashqi maydon ta'sirida o'tkazgich bo'ylab ularning harakatini hosil qilishidir. O'tkazgichlar: metallar, yarim o'tkazgichlar, ba'zi-bir suyuqliklar (elektrolitlar), ma'lum sharoitda gazlar ham bo'lishi mumkin. O'tkazgichdan tok o'tganda alohida tok tashuvchilarning trayektoriyasini sxematik ravishda siniq chiziq bilan tasvirlash mumkin (5.2-rasm). Tok tashuvchilar xaotik harakatda bo'ladi va shu bilan birga unga ta'sir qiluvchi kuch tomonga tartibli harakat ham qiladi. Elektr tokini makroskopik jihatdan tasvirlaganda issiqlik harakatini hisobga olmaslik ham mumkin, chunki u zaryadning sistematik ko'chishiga uncha halaqit bermaydi va trayektoriya bo'yicha yoki tok chiziqlari bo'yicha V tezlik bilan harakatini qarasak yetarli bo'ladi.



5.2-rasm. Zaryadlangan zarrachalarning harakat traektoriyasi

Elektr toki doimiy deyiladi, agar tok tashuvchilarning harakati statsionar bo'lsa, ya'ni tok tashuvchilarning tartibli harakati o'zgarmas bo'lsa, u holda tok chiziqlarining manzarasi ham o'zgarmay qoladi.

§17. Tok kuchi. Kuchlanish. Qarshilik. O'ta o'tkazuvchanlik.

Zaryadli zarrachalarning tartibli harakatiga elektr toki deyiladi. Tok yo'nalishi uchun musbat zaryadlarning harakat yo'nalishi qabul qilingan. Odatda elektr toki elektr maydonining ta'sirida vujudga keladi. Elektr toki tashuvchi zarrachalarga erkin elektronlar, ionlar va o'zida ortiqcha zaryadi bo'lgan makrozarrachalar (zaryadlangan chang zarrasi va tomchilar) kiradi. O'tkazgichlarda elektr toki erkin elektronlarning tartibli harakatidan iborat. Bu tasavvurni L. I. Mandelshtam va N. D. Papaleksi 1912 yilda, hamda amerikalik fiziklar Styuart va Tolmenlar 1916 yil tajribalar yordamida to'liq tasdiqlanganlar. Metalllarda asosiy tok tashuvchilar erkin elektronlardir. Rikki (nemis fizigi) o'tkazgan tajribada Cu, Al, Cu metallar ketma-ket ulangan va undan bir yil davomida tok o'tkazilgan. Lekin hech qanday o'zgarish yuz bermagan. Bu esa tokni hamma metallar uchun umumiy bo'lgan va 1897 yil Tomson ochgan elektronlar tashiydi degan xulosaga kelishiga imkon beradi. Milliken va Styuardlar tomonidan haqiqatdan ham metallarga elektr tokini erkin elektronlar tashishi aniqlandi. Kristal panjara tugunlarida ionlar atrofida tartibsiz harakatlanuvchi elektronlar bo'ladi. Tajribalarning ko'rsatishicha odatdagi haroratlarda elektronlar metallardan chiqib ketmaydi. Demak, metall sirtida elektronni ushlab turuvchi elektr maydoni bo'lishi kerak. Uni yengish uchun esa chiqish ishini bajarish zarur. Elektron metall sirtida elektron buluti qatlamini hosil qiladi va sirtida $\Delta\varphi$ potentsiallar farqi yuzaga keladi $\Delta\varphi = \frac{A}{l}$. Demak, metall ichida elektron $\Delta\varphi \cdot l$ – potentsiyal energiyaga ega bo'ladi.

U holda butun metall hajmi elektron uchun chuqurligi A ga teng potentsial chuqurlikdan iborat deyish mumkin. $1eV = 1,6 \cdot 10^{-19}J$ chiqish ishi metall turidan bog'liq va u bir necha eV dan iborat. Masalan, kaliy uchun $2,2eV$, platina uchun $6,3eV$. Metall sirti qoplamasini tanlash yo'li bilan chiqish ishini kamaytirish mumkin.

Tok kuchi deb o'tkazgichning ko'ndalang kesim yuzasidan dt vaqt davomida o'tib turgan dq zaryad miqdori bilan o'lchanadigan skalyar kattalikka aytiladi, ya'ni:

$$I = \frac{dq}{dt} \quad (5.1)$$

Vaqt o'tishi bilan tok kuchi va yo'nalishi o'zgarmaydigan tok o'zgarmas tok deyiladi. U holda tok kuchi $I = \frac{q}{t}$ (5.2)

XBT – tizimida tok kuchi o'lchov birligi – (A) amper.

O'tkazgichdagi elektr toki elektronlarning tartibli harakatidan iborat ekanligini tasdiqlovchi tajribani birinchi bo'lib rus fiziklari L. I. Mandelshtam va N. D. Papaleksi 1913 – 1914 yilda kuzatishgan. 1826 yilda Nemis fizigi G. S. Om tajriba yo'li bilan bir jinsli metallda birinchi tur o'tkazgichdan o'tuvchi tok kuchi o'tkazgich uchlaridagi U – kuchlanishga to'g'ri proporsional va o'tkazgich qarshiligiga teskari proporsional ekanligini aniqladi.

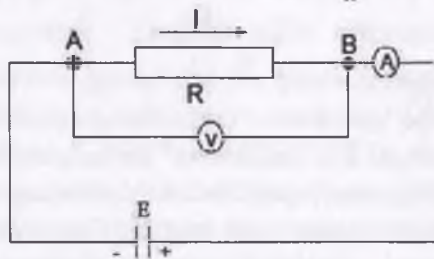
Tajribalarning ko'rsatishicha, o'tkazgichdagi tok kuchi I o'tkazgichning uchlari orasidagi U kuchlanishga proporsional bo'lishini aniqlagan:

$$I = kU \quad (5.3)$$

bu yerda k – o'tkazuvchanlik yoki o'tkazgichning elektr o'tkazuvchanligi deb ataladi. O'tkazuvchanlikka teskari bo'lgan kattalik

$$R = \frac{1}{k} \quad (5.4)$$

o'tkazgichning elektr qarshiligi deyiladi. (5.3) formulaga R – ni qo'yib quyidagi ifodani hosil qilamiz, $I = \frac{U}{R}$. (5.5)



5.3-rasm. O'zgarmas tok zanjiri

(5.5) munosabat elektr zanjirining bir qismi uchun **Om qonunini** ifodalaydi.

O'tkazgichdagi tok kuchi o'tkazgich uchlaridagi kuchlanishga to'g'ri proporsional va o'tkazgichning qarshiligiga teskari proporsionaldir.

Elektr zanjiri tarkibida tok manbai, ya'ni EYuK. mavjud bo'lsa, butun zanjir uchun Om qonuni quyidagicha yoziladi:

$$I = \frac{\varepsilon}{R+r} \quad (5.6)$$

bunda: r – tok manbaini ichki qarshiligi, R – tashqi qarshilik, $R + r$ – to'la qarshilik va ε – tok manbai E.Yu.K

Zanjirdagi tok kuchi tok manbasining EYuK ga to'g'ri proporsional va zanjirning to'la qarshiligiga teskari proporsionaldir.

Qarshilikning o'lchov birligi uchun shunday o'tkazgichning qarshiligi olinadiki, o'tkazgich uchlaridagi kuchlanish 1V bo'lganda unda 1A tok kuchi hosil bo'ladi, bu birlik 1 Ω (1 Ω) deb ataladi.

$$[R] = 1 \Omega = 1V/1A$$

O'tkazgich qarshiligi uning o'lchamiga, shakliga va uning xossalriga hamda qanday materialdan yasalganligiga bog'liq bo'ladi. Metall o'tkazgichning tokka ko'rsatadigan qarshiligi erkin elektronlarning metall panjara tugunlaridagi ionlar bilan to'qnashishi tufayli hosil bo'ladi va shuning uchun ham qarshilik o'tkazgichning shakli, o'lchamlari va modda tuzilishiga bog'liq bo'ladi

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (5.7)$$

bu yerda l – o'tkazgich uzunligi, S – o'tkazgich ko'ndalang qirsim yuzasi, ρ – o'tkazgich moddasining solishtirma qarshiligi deyiladi. O'tkazgich materiali xossasiga bog'liq bo'lgan elektrik kattalik solishtirma qarshilik deb ataladi. (5.7) ifodadan

$$\rho = \frac{RS}{l}. \quad (5.8)$$

Solishtirma qarshilikning o'lchov birligi – 1 $\Omega \cdot m$. Qirrasining uzunligi 1 metr bo'lgan kub o'tkazgichning qarshiligi solishtirma qarshilik deyiladi. Agar $l = 1m$, $S = m^2$ bo'lsa $\rho = R$ bo'ladi. Demak, solishtirma qarshilik ham qarshilik ekan. O'tkazgich qarshiligi va solishtirma qarshiligi temperaturaga bog'liq. Temperatura o'shishi bilan metall panjarasidagi ionlarning xaotik harakati tezlashadi va elektronlarning tartibli harakati qiyinlashadi. Shuning uchun o'tkazgichlarning qarshiligi va solishtirma qarshiligi temperatura ortishi

bilan chiziqli ravishda ortadi, ya'ni buning uchun quyidagilarni yozish mumkin:

$$R = R_0(1 + \alpha t) \text{ va } \rho = \rho_0(1 + \alpha t) \quad (5.9)$$

bu yerda R_0, ρ_0 – o'tkazgichning 0°C dagi qarshiligi va solishtirma qarshiligi, α – qarshilikning tempik koeffitsiyenti. O'tkazgichning solishtirma qarshiligiga teskari bo'lgan fizik kattalik o'tkazgichning solishtirma o'tkazuvchanligi deyiladi:

$$1/\rho = \gamma \quad (5.10)$$

XBT da o'tkazuvchanlik birligi qilib – 1 simens (1 S) qabul qilingan,

$$1 \text{ S} = \frac{1\text{A}}{1\text{V}} \text{ ga teng.}$$

Metallar qarshiligining temperaturaga bog'liqligidan foydalanib haroratni o'lchash asboblari yasash va avtomatik qurilmalarni boshqarishda foydalaniladi. Ularning orasida eng muhimi qarshilik elektr termometridir. Qarshilik elektr termometrlarining tuzilishi qarshilikning haroratga bog'liq bo'lishiga asoslangan: o'tkazgich qarshiligi kattaligiga qarab qarshilikka mos harorat hisoblab chiqariladi.

Elektr tokining o'tkazgich ko'ndalang kesim yuzasi bo'yicha taqsimlanishi tok zichligi deyiladi va quyidagi formula bilan ifodalanadi.

$$j = \frac{I}{S} \quad (5.11)$$

Zanjirning bir qismi uchun Om qonuni formulasidagi R qarshilik o'rniga, qarshilik ifodasidagi kattaliklar qo'yib tok zichligini topaylik

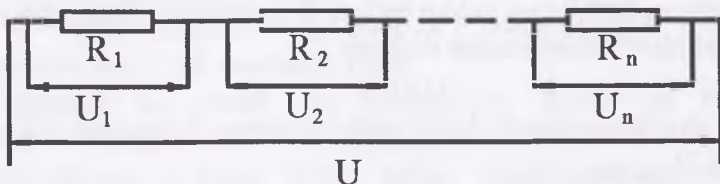
$$j = \frac{I}{S} = \frac{U}{RS} = \frac{U}{\frac{\rho l S}{S}} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{U}{l} = \gamma \frac{U}{l} = \gamma E \quad (5.12)$$

bu yerda γ – o'tkazgichning o'tkazuvchanligi, $E = \frac{U}{l}$ – o'tkazgich elektr maydon kuchlanganligi. Shunday qilib, o'tkazgichlarda tok hosil qiluvchi zaryadlarning yo'nalishi $\vec{E}$ elektr moydon kuchlanganligi vektori y'onalishi bo'ylab bo'ladi, o'z navbatida, $\vec{E}$ bilan $\vec{j}$ tok zichlik vektorlari yo'nalishlari mos tushadilar. (5.12) formula o'tkazgich ichidagi ixtiyoriy nuqtadagi tok zichligini shu nuqtadagi elektr maydon kuchlanganligi bilan bo'glaydigan bu munosabatni ko'rsatadigan **Om qonunining differensial** ko'rinishini ifodalaydi.

O'tkazgichlar bir– biriga ikki xil usulda ulanadi:

- 1) Ketma – ket ulash
- 2) Parallel ulash

Ketma – ket ulash deb, oldingi o‘tkazgichning oxiriga keyingi o‘tkazgichning boshini ulash usuliga aytiladi. Ketma – ket ulashda zanjirning barcha qismlaridan o‘tadigan tok kuchi bir xil,, kuchlanish har xil bo‘ladi (5.4-rasm).



5.4-rasm. O‘tkazgichlarni ketma-ket ulash

$$I_{um} = I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n \quad (5.13)$$

$$U_{um} = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n \quad (5.14)$$

Ketma – ket ulangan zanjirning umumiy qarshiligi (2.203) ifodaga asos

$$R_{um} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n \quad (5.15)$$

ga teng ekanligi kelib chiqadi.

Bu ifoda asosan ketma – ket ulangan zanjirning umumiy qarshiligi alohida o‘tkazgichlar qarshiliklarining algebrik yig‘indisiga tengligi kelib chiqadi. O‘tkazgichlarni parallel ulash deb, o‘tkazgichlarning bir uchi bir tugunga, ikkinchi uchi ikkinchi tugunga ulangan o‘tkazgichlar tizimiga aytiladi.

Parallel ulashda har bir tarmoqdagi va butun tarmoqdagi kuchlanish bir xil, tok kuchlari esa har xil bo‘ladi

$$U_{um} = U_1 = U_2 = U_3 = \dots = U_n \quad (5.16)$$

$$I_{um} = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n \quad (5.17)$$

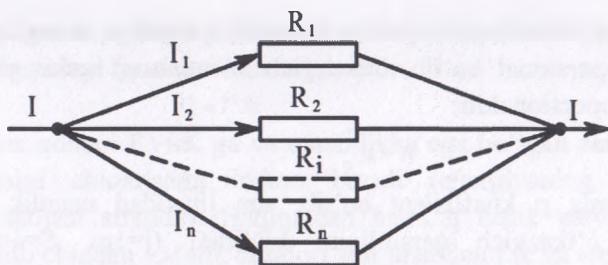
Om qonuniga asosan

$$\frac{U_{um}}{R_{um}} = \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \dots + \frac{U_n}{R_n} \quad (5.18)$$

ko‘rinishida yozib, bundan

$$\frac{1}{R_{um}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (5.19)$$

ifoda hosil bo‘ladi. Bu ifodaga asosan parallel ulangan zanjirning umumiy qarshiligi alohida o‘tkazgichlarning qarshiligidan ham kichik ekanligi kelib chiqadi.



5.5-rasm. O'tkazgichlarni parallel ulash

Qarshilikni oshirish uchun o'tkazgichlar ketma – ket, kamaytirish uchun esa parallel ulanadi .

§18. Metallar elektr o'tkazuvchanligining klassik nazariyasi. O'zgarmas elektr toki qonunlari.

Ikkita holatni ta'kidlab o'tamiz. Birinchisi, doimiy tok faqat yopiq zanjirda oqadi, aks holda zanjir uzilgan joyda zaryadlar to'planib qoladi. Bu esa vaqt bo'yicha elektr tokining o'zgarishiga olib keladi, natijada tok tashuvchilarning statsionarlik holati buziladi. Ikkinchidan, tok kuchi har qanday o'tkazgich kesimlarida turlicha bo'lganda edi, shu kesma o'rtasidagi sohada zaryad to'planib qolar edi, bu yana o'z navbatida elektr maydonining o'zgarishiga olib kelar edi, shu bilan birga tokning statsionar harakati buzilar edi.

Endi doimiy tokning miqdoriy qonunlariga o'tamiz. Nemis fizigi Georg Om tajribada aniqladiki, doimiy tok zanjirining bir qismi uchun, bu sohada EYuK bo'lmagan holda, tok kuchi kattaligi kuchlanishga proporsional ekanligini ko'rsatib berdi:

$$I = \frac{U}{R} \quad (5.20)$$

Bu yerda R- proporsionallik koeffisienti bo'lib, o'tkazgichning fizik xossasiga va geometrik shakliga bog'liq bo'ladi va unga o'tkazgichning qarshiligi deyiladi. Elektr qarshilik tushunchasini fizikaga G. Om kiritgan, shunga ko'ra qarshilik o'lchov birligi uchun Om qabul qilingan.

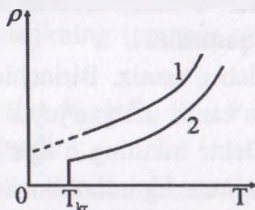
Silindrik shakldagi bir jinsli o'tkazgich qarshiligi, uning uzunligi l ga to'g'ri proporsional bo'lib, o'tkazgich ko'ndalang kesim yuzasi S ga teskari proporsionaldir:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (5.21)$$

Bu yerda ρ koeffitsient bo'lib, son jihatidan uzunlik birligidagi silindrik o'tkazgich qarshiligini bildiradi ($l=1\text{m}$, $S=1\text{m}^2$). Unga o'tkazgichning solishtirma qarshiligi deyiladi. Unga teskari kattalikka moddaning solishtirma elektr o'tkazuvchanligi deyiladi:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (5.22)$$

Solishtirma qarshilik o'tkazgich temperaturasi oshishi bilan oshadi, uncha past bo'lmagan temperaturalarda taxminan temperaturaga proporsionaldir.



5.6-rasm. Solishtirma qarshilikning haroratdan bog'liqligi

Ko'pgina metallar (simob, qalay, alyuminiy, va h.z.) va qotishmalar sovitilganda qandaydir kritik temperaturaga (T_{kr}) yetganda o'ta o'tkazuvchanlik holatiga o'tiladi. Bu holatga o'tishning belgisi qarshilikning nolga teng bo'lishi bilan baholanadi, keyingi sovutishlarda ham nol holatda qolaveradi (5.6-rasmdagi 2-egri chiziq).

Kritik temperaturalar qiymati 1911 yillarda, ya'ni Kamerling Onnes davrida juda past edi. Bu qiymat 5K dan kichik edi. Ammo, 1986 yilda o'ta o'tkazuvchanlikning rivojlanishi yangi bosqichga o'tdi. O'ta o'tkazuvchanlik temperaturasi 80-100 K lar ga ko'tarildi. Bu yangi kashfiyot uchun Shveysariyalik fiziklar Bedner va Myullerga Nobel mukofoti berildi.

Joul-Lens qonuni bo'yicha doimiy tok zanjirining sohasidan tok o'tganda uzluksiz ravishda issiqlik ajralib chiqib turadi, bu issiqlik miqdori soha qarshiligiga, tok kuchining kvadratiga va vaqtga

bog'liqdir. Demak, t vaqt ichida o'tkazgichdan ajralib chiqqan issiqlik miqdori Q quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$Q = I^2 R t \quad (5.23)$$

Joul-Lens qonuni EYuK ga va qarshilikka ega bo'lgan zanjir uchun Om qonunini chiqarishga imkon beradi (energiyaning saqlanish qonuning natijasi sifatida). Haqiqatdan ham, q birlik zaryad o'tgan vaqtda ajralib chiqqan issiqlik miqdori son jihatidan I.R ga teng bo'ladi. Energiyaning saqlanish qonuniga ko'ra, bu issiqlik birlik zaryadni ko'chirishdagi barcha kuchlarning ishiga tengdir:

$$I \cdot R = \varphi(B) - \varphi(C) + \varepsilon \quad (5.24)$$

EYuKga ega bo'lgan zanjir qismi uchun chiqadigan Om qonunidan bevosita tarmoqlanmagan yopiq zanjir uchun Om qonuni kelib chiqadi.

Agar formula (5.24) da $\varphi(B) = \varphi(C)$ deb olsak, biz konturning dastlabki holatiga qaytgan bo'lamiz. To'la qarshilikni R va ichki qarshilikni r bilan belgilasak, quyidagiga ega bo'lamiz:

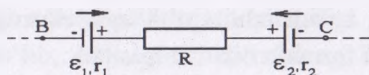
$$I \cdot (R + r) = \varepsilon \quad (5.25)$$

Bu (5.24) va (5.25) formulalardagi yig'indi EYuK ni bildiradi.

Ishoralar qoidasini aniqlaymiz. Qandaydir aylanish yo'nalishini musbat uchun qabul qilamiz - bu boshlang'ich nuqta B dan oxirgi nuqta C yo'nalishdagi manbaning EYuK. ga musbat ishora, agar tashqi kuchlarning kuchlanganlik yo'nalishi unda aylanish yo'nalishi bilan mos kelsa va aks holda manfiy ishora bo'ladi (tashqi kuchlarning kuchlanganligi yo'nalishi manba ichida manfiy elektroddan musbatga yo'налgan). Tok kuchi ishorasi musbat zaryadlarning qayeoqqa yo'налganligiga bog'liq bo'ladi: aylanish musbat yo'nalish bo'yicha bo'lsa ($I > 0$) yoki unga qarshi ($I < 0$) rasmda ko'rsatilgan soha uchun, bu yerda strelkalar tashqi kuchlarning manbadagi kuchlanganligining yo'nalishini ko'rsatadi. U vaqtda Om qonuni (5.24) quyidagicha yoziladi:

$$I(R + r_1 + r_2) = \varphi(B) - \varphi(C) + \varepsilon_1 + \varepsilon_2 \quad (5.26)$$

Agar R , r_1 , r_2 va $\varphi(B)$, $\varphi(C)$, ε_1 , ε_2 larning son qiymatlari qo'yilganda $I > 0$ bo'lsa, u vaqtda tok musbat yo'nalishiga qarshi oqadi, ya'ni C nuqtadan B nuqtaga o'tadi.



5.7-rasm. Zanjirning bir qismi

§19. O'zgarmas tokning bajargan ishi va quvvati. Om va Joul-Lens qonunlarining differensial va integral ko'rinishlari.

Qarshiligi R va $\varphi_1 - \varphi_2 = U$ kuchlanishda bo'lgan o'tkazgichda o'zgarmas tok bajargan ishini aniqlaylik. Tok q – zaryadning elektr maydon ta'sirida ko'chishidan iborat bo'lgani uchun bajarilgan ishini aniqlash mumkin,

$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2) = qU \quad (5.27)$$

bu yerda $q = It$ ekanligini va zanjirning bir qismi uchun Om qonunini inobatga olib, tokning ishi uchun quyidagi ifodalarni yozish mumkin.

$$A = IUt = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t \quad (5.28)$$

bu yerda t – ish bajarilayotgan vaqt. Vaqt birligi ichida bajarilgan ish quvvat ekanligini inobatga olib, bu tengliklarni har ikki tomonini t – vaqtga bo'lib, o'zgarmas tok quvvatining tegishli ifodalarni olamiz.

$$N = IU = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (5.29)$$

Tok ishi J (Joul) larda, quvvati esa W (vatt) larda o'lchalanadi.

Joul-Lens qonuni. Tajribalardan ma'lumki, o'tkazgichdan tok o'tsa hamma vaqt o'tkazgich qiziydi. Bunga sabab, o'tkazgich bo'ylab harakatlanayotgan erkin elektron o'tkazgich panjarasidagi ion bilan to'qnashish paytida kinetik energiyasining bir qismini ionga beradi, shu sababli ion harakatchanligi ortadi, natijada' issiqlik ajralib chiqadi. O'tkazgichdan elektr toki o'tganda o'tkazgichdan ajralib chiqqan issiqlik miqdorini Joul-Lenslar tajribalari asosida aniqlagan.

O'tkazgichdan elektr toki o'tganda undan ajralib chiqqan issiqlik miqdori tok kuchining kvadratiga, qarshilikka va tok o'tib turgan vaqtga to'g'ri proporsional. Ajralib chiqqan issiqlik miqdorini quyidagi ifodalash mumkin:

$$Q = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t \quad (5.30)$$

bu ifoda Joul-Lens qonunining formulasi.

Bu qonun birinchi marta tajriba yo'li bilan J.P. Joul va E.X.Lens tomonidan aniqlangan. Joul-Lens qonunining differensial ko'rinishidagi tenglamasi

$$w = \gamma E^2 \quad (5.31)$$

bo'ladi. Vaqt birligi ichida o'tkazgichning bir-birlik hajmida ajralgan issiqlik miqdori w ga yana tok issiqlik quvvatining hajm zichligi deyiladi. Shunday qilib, Joul-Lens qonuni quyidagicha ta'riflanadi: vaqt birligi ichida o'tkazgichning hajm birligida ajralgan issiqlik miqdori o'tkazgichdagi elektr maydon kuchlanganligining kvadriga proporsionaldir.

Tarmoqlanmagan elektr zanjiri deb faqat bitta berk o'tkazuvchan konturdan iborat bo'lgan eng sodda elektr zanjiriga aytiladi. Tarmoqlanmagan zanjirlarning barcha qismlarida tok kuchi bir xil bo'ladi. Tarmoqlanmagan zanjirlarning tok kuchini elektr yurituvchi kuchini (EYuK) va qarshiligini aniqlashda zanjirning bir qismi uchun hamda butun zanjir uchun Om qonunlaridan foydalanilsa bo'ladi. Tarmoqlangan elektr zanjiri ancha murakkab bo'ladi.

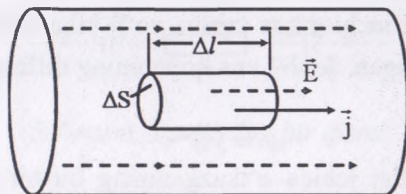
Tarmoqlangan zanjir berk konturining alohida qismlarida tok kuchlari kattalik jihatdan ham yo'nalishi jihatdan ham turlicha bo'lishi mumkin. Tarmoqlangan zanjirni Om qonunlariga ko'ra bevosita hisoblash qiyin, ammo Kirxrof qoidalarini qo'llab bunday hisobni soddalashtirish mumkin.

Om va Joul-lens qonunlarining differensial ko'rinishi. Fikran kuch chiziqlari bo'ylab, asosi ΔS va uzunligi l ga teng bo'lgan kichik silindrni ajratamiz (5.8-rasm). Om qonuni silindrik element uchun $\Delta U = R\Delta I$ ko'rinishda yoziladi, R - element qarshiligi $\Delta I = j\Delta S$ ekanini hisobga olsak

$$R = \rho \frac{\Delta l}{\Delta S}, \quad \Delta U = E\Delta l \quad \text{va} \quad \Delta U = -\Delta\varphi \quad \text{bo'ladi.}$$

U holda Om qonunini quyidagi ko'rinishda yozamiz:

$$j = \frac{1}{\rho} E \quad \text{yoki} \quad j = \sigma E \quad (5.32)$$



5.8-rasm. Silindrdan tok o'tishini hisoblash chizmasi

$\mathbf{j}$ va $\mathbf{E}$ vektorlarining yo'nalishi mos kelgani uchun vektor $\mathbf{j}$ musbat tok tashuvchilarning tartibli harakati tomon yo'nalgan bo'ldi. Shuning uchun keyingi ifodani vektor ko'rinishda yozamiz.

$$\mathbf{j} = \sigma \mathbf{E} \quad (5.33)$$

Bu formula o'tkazgichning istalgan nuqtasida tok zichligi bilan kuchlanishni bog'laydi va uni **Om qonunining differensial ko'rinishi yoki vektor ko'rinishi** deb aytiladi. Bu qonun vaqt bo'yicha o'zgaradigan jarayonlarda ham o'rinli bo'ladi. Bu qonun anizotrop muhitlar uchun ham o'rinli bo'ladi. Chunki, anizotrop muhitlarda elektr o'tkazuvchanlik tokning o'tish yo'nalishiga ham bog'liq bo'ladi. U vaqtda bu skalyar bo'lmay, balki tenzordan iborat bo'ladi. U vaqtda keyingi tenglama tenzor tenglamaga aylanadi. U vaqtda $\mathbf{j}$ va $\mathbf{E}$ vektorlar bir-biriga parallel bo'lmay quyidagi munosabatga bo'ysunadi, masalan j_x uchun quyidagicha munosabat o'rinli bo'ladi:

$$j_x = \sigma_{xx} E_x + \sigma_{xy} E_y + \sigma_{xz} E_z$$

j_y va j_z uchun ham xuddi shunday bo'ladi.

Tashqi kuchlarning kuchlanganligini hisobga olsak,

$$\mathbf{j} = \sigma (\mathbf{E} + \mathbf{E}^{\text{tashqi}}) \quad (5.34)$$

Yuqoridagi formulalardan foydalanib, **Joul-Lens qonunining differensial** ko'rinishini ham yozish mumkin:

$$W = \sigma E^2 \quad (5.35)$$

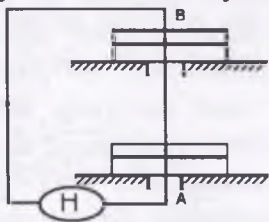
Bu yerda W - o'tkazgichning hajm birligida nuqta atrofida vaqt birligi ichida ajralib chiqqan issiqlik miqdori qonuniyatini ifodalaydi, haqiqatdan, bunga ishonch hosil qilish mumkin:

$$W = \frac{\Delta Q}{\Delta t \Delta V} = \frac{(\Delta l)^2 \rho \frac{\Delta l}{\Delta S} \Delta t}{\Delta t \Delta l \Delta S} = \frac{(j \Delta S)^2}{\sigma (\Delta S)^2} = \sigma E^2$$

§20. Tashqi kuchlar. Elektr yurituvchi kuch.

O'tkazgichda elektr toki hosil qilish uchun unda elektr maydoni hosil qilish kerak. Bu maydon tok tashuvchilarga ta'sir qilib, ularning tartibli harakatini hosil qiladi. Ravshanki, doimiy tok olish uchun faqat elektrostatik kuchlarning bo'lishi yetarli emas, chunki biz bilamizki, ularning ta'sirida zaryad o'tkazgich sirti bo'yicha tekis taqsimlanadi, chunki o'tkazgich ichida maydon bo'lmaydi. Ikkinchi tomondan, energiya ning saqlanish qonuniga asosan, doimiy tok zanjiridan uzluksiz ravishda issiqlik ajralib turadi. O'tkazgichlarning ichki energiyasi undan tok o'tganda o'zgarmaydi, issiqlik ajralib chiqishi zaryadni qandaydir boshqa kuchlar tomonidan ko'chirilgan ish hisobidan amalga oshiriladi. Bu elektrostatik kuch bo'lmasligi kerak, chunki elektrostatikadan ma'lumki, ularning yopiq kontur bo'yicha bajargan ishi nolga teng.

Shunday qilib, doimiy tok bo'lishi uchun zanjirda qandaydir noelektr kuch bo'lishi kerak - bu kuchni tashqi kuchlar deyiladi. Agar Kulon kuchlari turli xil ishorali zaryadlarni qo'shib, ularning potensialini tenglashtirishga va elektr tokini o'tkazishda yo'qotishga olib kelsa, tashqi kuchlar esa turli xil ishorali zaryadlarni ajratadi va o'tkazgich uchlari da potentsiallar ayirmasini doimiy saqlab turadi. Zanjirda tashqi kuchlarning qo'shimcha maydoni elektr energiyasi manbalari (galvanik elementlar, akkumulyatorlar, termogeneratorlar, elektrogeneratorlari va hakoza.) orqali amalga oshiriladi. Doimiy tok zanjirida tashqi kuchlar manbaining bo'lishi har qanday yopiq gidravlik sistemada suyuqlikning doimiy oqimini hosil qiluvchi nasos kabi zarurdir. Bu jarayonni sifat jihatdan tushuntirishda quyidagi gidravlik zanjirdagi o'xshashlikdan foydalanish mumkin.



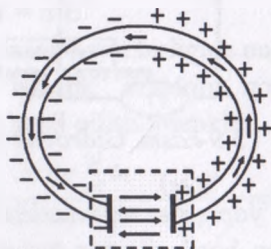
5.9-rasm. Gidravlik zanjir

Yuqoridagi rasmda yopiq suv sistemasida A nuqtadan B nuqttagacha suv nasos N tomonidan hosil qilingan tashqi kuchlar ta'sirida og'irlik kuchiga qarshi harakat qiladi, B nuqtadan A nuqttagacha u og'irlik kuchi

ta'sirida harakat qiladi. Elektr zanjirida nasos vazifasini elektr energiya manbai bajaradi. Shu hisobdan hosil qilingan tashqi kuchlarning maydoni elektr zaryadini elektr energiya manbai ichida elektrostatik maydon kuchiga qarshi ish bajarish hisobidan hosil bo'ladi. Natijada tashqi zanjirning uchlarida potentsiallar ayirmasi doimiy ushlab turiladi va zanjirda doimiy tok oqadi.

Hozirgacha mavjud bo'lgan o'quv qo'llanmalarida tashqi kuchlarning kelib chiqishining fizik sababi sifat jihatidangina izohlanib, uning haqiqiy fizik ma'nosi yetarlicha yoritilmaganligi uchun, biz uni alohida qarab chiqmoqchimiz.

Bu kuchlar zaryaddan tashqi zanjir bo'ylab zaryadning taqsimlanishini hosil qilishi kerakki, natijada o'tkazgich ichida elektr maydoni noldan farq qilsin va ular shunday xossaga ega bo'lishi kerakki, ularning yopiq kontur bo'yicha bajargan ishi nolga teng bo'lmasligi kerak. Odatdagi doimiy tok zanjirlarida tashqi kuchlar tok manbaining ichida (galvaniq element, akkumulyator) bo'ladi va kimyaviy tabiatga ega bo'ladi, a tashqi zanjirda tok tashuvchilar faqat elektrostatik kuch ta'sirida harakatda bo'ladi. Ko'rsatish mumkinki, agar o'tkazgich bir jinsli bo'lsa zaryadlar tashqi zanjirda o'tkazgich sirti bo'yicha taqsimlanadi. Doimiy tok manzarasi 5.10—rasmدا tasvirlangan. Bu yerda yupqa chiziqlar elektr maydon kuchlanganligini, qalin chiziqlar - tashqi kuchlar kuchlanganligini bildiradi. Tashqi kuchlarni miqdoriy jihatdan xarakterlash uchun elektr yurituvchi kuch deb ataladigan fizik kattalik kiritiladi yoki u qisqacha $E_{Yu.K.}$ deb ham yuritiladi. **Elektr yurituvchi kuch deb**, tashqi kuchlarning zaryadni ko'chirishda bajargan ishi A ni shu zaryad q ga nisbatiga aytiladi. U elektr maydon kuchlanganligidan farqli ravishda E harfi bilan belgilanadi:



5.10-rasm. Doimiy tok manzarasi

$$\varepsilon = \frac{A}{q} \quad (5.36)$$

Bundan kelib chiqadiki, EYuK son jihatdan birlik musbat zaryadni zanjir bo'ylab ko'chirishda bajarilgan ishga tengdir. Tashqi kuchlar maydon kuchlanganligi E^T musbat zaryadga ta'sir qiluvchi kuch bilan aniqlanadi:

$$E^T = F^T/q \quad (5.37)$$

$$\varepsilon_{BC} = \int_B^C E_l^{tashqi} dl \quad (5.38)$$

Kuchlanish deb, birlik musbat zaryadni boshlang'ich (B) holatdan oxirgi (C) holatga ko'chirganda bajarilgan barcha ishlar yig'indisiga aytiladi. Umumiy holda kuchlanish sohaning boshlang'ich va oxirgi holat nuqtalarining potentsiallar ayirmasidan (elektrostatik kuchlar ishi) va shu sohadagi EYuK (tashqi kuchlar ishi) yig'indisidan iborat bo'ladi:

$$U_{BC} = \varphi(B) - \varphi(C) + \varepsilon_{BC} \quad (5.39)$$

Agar qaralayotgan sohada tashqi kuchlar bo'lmasa (odatda tok manbai bo'lmagan hol), u vaqtda kuchlanish potentsiallar ayirmasiga teng bo'ladi:

$$U_{BC} = \varphi(B) - \varphi(C) \quad (5.40)$$

EYuK va kuchlanishning ta'rifidan kelib chiqadiki, bu ikkala kattalik ham bir xil o'lchamlikka ega bo'lib, XB sistemasida voltda o'lchanadi.

§21. O'zgarmas tok manbalari. Akkumulyatorlar va galvanik elementlar.

Tok manbalari — har xil energiya turlarini elektr energiyasiga aylantirib beruvchi qurilmalar. Shartli ravishda kimyoviy va fizik tok manbalariga bo'linadi. Kimyoviy tok manbalarida oksidlashtirish reaksiyasi natijasida elektr energiyasi hosil bo'ladi. Bunday tok manbalari jumlasiga galvanik elementlar, elektrkimyoviy generatorlar va boshqa qurilmalar kiradi. Fizik tok manbalari issiqlik, mexanik, elektromagnit energiyani, shuningdek, radiatsion nurlanish va yadroviy parchalanish reaksiyasi energiyasini elektr energiyasiga aylantirib beradi. Elektromagnit generatorlar, termoelektr generatorlar, quyosh batareyalari va boshqa shular jumlasiga kiradi. Atom elektr stansiyasi

(AES), gidroelektr stansiya (GES), issiqlik elektr stansiyalari (IES), shamol energetika qurilmasi va boshqa ham tok manbalari hisoblanadi.

Kimyoviy tok manbalari -kimyoviy reagentlarning oksidlanish-qaytarilish reaksiyalari energiyasi hisobiga elektr toki ishlab chikaradigan qurilmalar. Dastlabki kimyoviy tok manbalarim. Volt ustuni, Leklanshe elementi bo'lgan. Uning asosini elektrolit bilan kontakt hosil qiladigan ikki elektrod (biri oksidlagich, ikkinchisi qaytargich) tashkil qilgan. Elektrodlar orasida potentsiallar farqi — elektr yurituvchi kuch (oksidlanish-qaytarilish reaksiyasining erkin energiyasiga mos) hosil bo'ladi. Kimyoviy tok manbalari elektr kimyoviy tizimlariga ko'ra, galvanik elementlar va akkumulyatorlarga, ishlatilishi va energiyani elektr tarmog'iga uzatilishi bo'yicha birlamchi, ikkilamchi, zahira va elektr kimyoviy generatorlarga bo'linadi. Birlamchi kimyoviy tok manbalariga kimyoviy reagentlar energiyasidan foydalaniladigan galvanik elementlar va batareyalar kiradi. Musbat va manfiy elektrodlar suyuq yoki pastasimon elektrolit shimdirilgan g'ovak membrana-separator bilan ajratiladi va butun foydalanish davomida elektrik jihatdan bog'langan bo'ladi. Ikkilamchi kimyoviy tok manbalariga akkumulyator va akkumulyatorlar batareyasi kiradi. Bunda kimyoviy reagentlar energiyasidan ko'p marta foydalaniladi. Zahira kimyoviy tok manbalarida kimyoviy reagentlar energiyasidan faqat bir marta foydalaniladi. Bunday kimyoviy tok manbalarida, elektrolit saqlab qo'yiladi va kerak bo'lganda ishlatiladi. Elektrolit elektrodlar orasida suyuq holatda (shisha, plastmassa va boshqa idishlarda) yoki qattiq holatda (elektr o'tkazgich qo'ymay) saqlanadi. Ishlatish oldidan suyuq elektrolit ampulalarining uchi sindiriladi, qattiq elektrolit esa qizdirib eritiladi. Elektr - kimyovii generatorlar tashqaridan keladigan kimyoviy reagentlar energiyasini o'zgartirishdan hosil bo'ladigan elektr tokini uzoq, vaqt to'xtovsiz generatsiyalash xususiyatiga ega. Ularning yuqori, past, o'rta temperaturali, suyuq va gaz reagentli turlari bor. Bunday generatorlar kosmik ob'yektlarda, elektromobillarda muqim (statsionar) qurilmalar va boshqalarda ishlatilad

Akkumulyator (lotincha: *accumulator* – to'plovchi) – keyinchalik foydalanish maqsadida energiyani to'playdigan qurilma. Elektr, issiqdlik, gidravlik, inersion xillari bor. Elektr akkumulyator elektr toki ta'sirida kimyoviy energiyani elektr energiyasiga aylantirib beradigan galvanik

tizim. Elektr akkumulyator musbat elektrod, manfiy elektrod va elektrolitdan iborat. Elektrodning elektrolitga tegib turuvchi sirtida potensiallar farqi hosil bo'ladi. Bu farq EYuK (elektr yurituvchi kuch) deyiladi. Yig'ilgan energiyani sarflash vaqtida kimyoviy energiya elektr energiyasiga, energiyani to'plash vaqtida esa elektr energiyasi kimyoviy energiyaga aylanadi. Elektrolit tarkibiga karab, akkumulyatorlar kislotali va ishqorli xillarga bo'linadi. Kislotali akkumulyatorlarda elektrolit sifatida sulfat kislota eritmasi, musbat elektrod sifatida qo'rg'oshin oksidi, manfiy elektrod sifatida qo'rg'oshin ishlatiladi. Bunday akkumulyatorlardan avtomobil transportida, aviatsiyada, aloqada foydalaniladi. Ishqorli akkumulyatorlar elektrodining xiliga qarab, kadmiy-nikelli va temir-nikelli, kumush ruxli va kumush-kadmiy-li bo'ladi. Kadmiy-nikelli A. musbat elektrodi grafit aralashtirilgan nikel oksididan, manfiy elektrodi kadmiy aralashtirilgan temirdan tayyorlanadi. Elektrolit sifatida o'yuvchi kaliy eritmasi yoki o'yuvchi natriy eritmasiga ozgina litiy gidrooksid qo'shilgan aralashma ishlatiladi. Akkumulyator zaryadlanish va za-ryadsizlanish vaqtidagi o'rtacha kuchlanish (har bir elementga 1–2 V) va sig'im (amper-soat) bilan ifodalanadi. Kuchlanishni oshirish uchun akkumulyatorlar ketma-ket ulanib, batareyalar hosil qilinadi. Kadmiy-nikelli va temir-nikelli akkumulyatorlar aviatsiyada, aloqa vositalarida, elektr transport mashinalarida, kosmik apparatlarda; kumush-ruxli va kumush-kadmiyli avi akkumulyatorlar aviatsiya, aloqa vositalari, kinoga olish apparati va boshqalarda ishlatiladi. Issiqlik akkumulyator tarmoqdagi bug' bosimini birday saqlab turadi. Gidravlik akkumulyator gidravlik qurilmalarda suyuqlik yoki gazning bosim va sarfini baravarlaydi, 100–300 atm bosim ostida suyuqlikni yig'ib, gidravlik presslarga va boshqa mashina-qurollarga bir me'yorda berib turadi. Inersion akkumulyator maxovikdan iborat bo'lib, undan turli mashinalar, transport vositalari va boshqalarda foydalaniladi. Soatlardagi prujinalar, aviatsiya modellaridagi rezina motor ham energiya akkumulyatori hisoblanadi

AKKUMULYATORLAR BATAREYASI, elektr akkumulyatorlar batareyasi – kuchlanish, tok kuchi, elektr zaryadi yoki quvvat olish uchun elektrik tutashtirilgan bir turdagi akkumulyatorlar guruhi. Akkumulyatorlar parallel ulanganda akkumulyatorlar batareyasidagi kuchlanish har qaysi element kuchlanishiga, umumiy elektr zaryad esa

alohida akkumulyatorlarning elektr zaryadlari yig'indisiga teng bo'ladi. Ketma-ket ulanganda EYuK lar qo'shiladi. Elektr zaryadi va kuchlanishni kuchaytirish uchun akkumulyatorlar aralash (ham ketma-ket, ham parallel) ulanadi. Bunday akkumulyatorlar batareyasi doimiy tok manbai hisoblanadi

GALVANIK ELEMENTLAR — elektr toki manbalarining umumiy nomi; elektrolit va unga botirilgan ikkita turli xil metall plastinka (elektrod)lardan iborat. Bunday elementlarning yaratilishiga italyan olimi, fiziolog L. Galvani hayvonlar ustida o'tkazgan tajribalar asosiy turtki bo'ldi (nomi shundan). Galvanik elementlarda kimyoviy reaksiya natijasida hosil bo'lgan energiya bevosita elektr energiyasiga aylanadi.

A. Volta yaratgan volta ustuni birinchi Galvanik elementlar bo'lgan. 19-asr o'rtalarigacha Galvanik elementlar yagona elektr toki manbai hisoblangan. Elektrodlardan biri (musbati) anod, ikkinchisi (manfiysi) katod deb ataladi. Reaksiya natijasida elektrodlarda potentsiallar farqi hosil bo'ladi. Bu elektrodlarni tutashtirib turadigan simda elektr toki vujudga keladi. Eng ko'p tarqalgan Galvanik elementlarda musbat elektrod o'rnida ko'mir tayoqcha, manfiy elektrod o'rnida rux tayoqcha, elektrod o'rnida esa novshadil eritmasi ishlatiladi. Suyuq elektrolit o'rnida quyuq pastalar qo'llanilsa, «quruq» element (Leklanshe elementi) hosil bo'ladi. Galvanik elementlarda reagentlar sarflanib (zaryadsizlanib) bo'lganidan so'ng u ishga yaroqsiz holga keladi, ya'ni ularni qayta zaryadlab bo'lmaydi. Galvanik elementlar ixtiro qilinishi bilan tok xususiyatlarini o'rganish va undan foydalanish imkoni yuzaga keldi, elektrotexnikaning fan sifatida shakllanishiga asos solindi.

§22. To'liq zanjir uchun Om qonuni. Tarmoqlangan zanjir uchun Kirxgof qoidalari.

To'la zanjir uchun Om qonuni quyidagi ko'rinishga ega

$$I \cdot (R + r) = \mathcal{E} \quad (5.41)$$

Bunda R-zanjirning tashqi qarshiligi, r- manbaning ichki qarshiligi, $\mathcal{E}$ -manbaning EYuKi, I- zanjirdagi tok kuchi, $R+r$ – zanjirning to'la qarshiligidir.

Zanjirning uchtdan kam bo'lmagan o'tkazgichlari birlashadigan nuqtalariga tugunlari deb ataldi. Bunda tugunga keluvchi toklarni musbat, tugundan ketayotgan toklarni manfiy deb hisoblash shartli ravishda qabul qilingan.

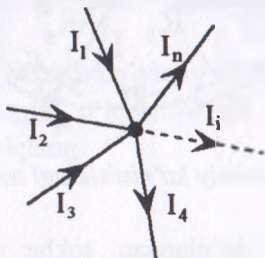
Kirxgof qoidalari:

1) Tugundagi toklarning algebraik yig'indisi nolga teng. $I_{kel} + I_{ket} = 0$ yoki $I_{ket} = -I_{kel}$. Umumiy holda:

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0 \quad (5.42)$$

bu yerdab $i = 1, 2, 3, \dots, n$.

Bu munosabat o'zgaras tok bo'lganda, tugunlarda zaryadlarning to'planmasligin bildiradi. Demak, tugunga vaqt birligi ichida bir xil elektr miqdori kiradi va undan chiqadi (5.11-rasm).

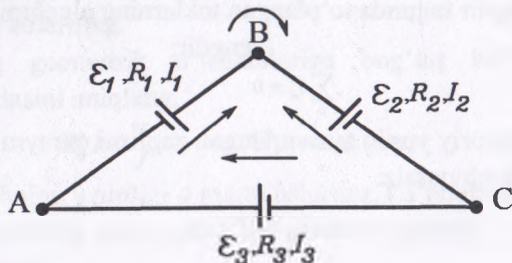


5.11-rasm. Tok zanjiridagi tugunning ko'rinishi

2) Tarmoqlangan zanjirning berk konturida tok manbalarining elektr yurituvchi kuchlarining algebraik yig'indisi tok kuchining bu konturning tegishli qismlari qarshiliklariga ko'paytmalarning algebraik yig'indisiga teng (5.12-rasm).

$$\sum_{i=1}^n \varepsilon_i = \sum_{i=1}^n I_i R_i \quad (5.43)$$

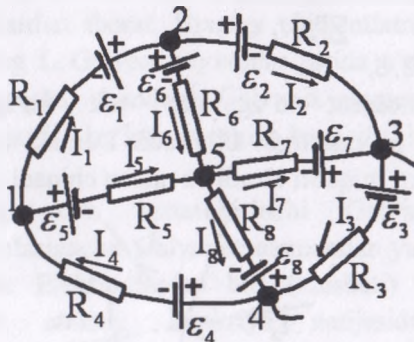
bu yerda ε — EYuK, $i = 1, 2, 3, \dots, n$.



5.12-rasm. To'la zanjir ko'rinishi

Tarmoqlangan zanjir uchun Kirxgof qoidalar. Umumiy ko‘rinishdagi tarmoqlangan zanjir berilgan (5.13–rasm) u tarmoqlanmagan sohalar (“1-2”, “2-3” va h.z.) to‘plamidan iborat bo‘lib, oxirlari tugunlarda birlashgan (“1”, “2” va h.z.). Barcha soha qismlarda, tugundan tugungacha, tok kuchi bir hil, bu tarmoqlanmagan zanjir shartida.

Lekin turli xil sohalarida tok kuchi turlichadir.



5.13-rasm. Umumiy ko‘rinishdagi tarmoqlangan zanjir

Qandaydir tugunda to‘plangan toklar o‘rtasidagi bog‘lanishni qaraymiz. Tugunga kiruvchi toklar yig‘indisi tugundan chiquvchi toklar yig‘indisiga teng bo‘lishi kerak, aks holda zaryad tugunda to‘plangan hollarda, bu tokning vaqt bo‘yicha doimiylik sharti bilan mos kelmaydi. “5” tugun uchun (46-rasm) toklarni o‘ngdan chapga o‘tkazsak,

$$\begin{aligned} I_5 + I_6 &= I_7 + I_8 \\ I_5 + I_6 - I_7 - I_8 &= 0 \end{aligned} \quad (5.44)$$

Kiruvchi toklarga musbat va chiquvchi toklarga manfiy ishora berildi. Bu Kirxgofning birinchi qoidasini ifodalaydi.

Qandaydir tugunda to‘plangan toklarning algebratik yig‘indisi 0 ga tengdir:

$$\sum_k I_k = 0 \quad (5.45)$$

Endi ixtiyoriy yopiq tarmoqlangan zanjirni qaraymiz. Barcha sohalar uchun yozib chiqamiz:

$$\begin{aligned}
 I_1 R_1 &= \varphi(1) - \varphi(2) + \varepsilon_1, \\
 I_6 R_6 &= \varphi(2) - \varphi(3) - \varepsilon_6, \\
 I_8 R_8 &= \varphi(5) - \varphi(4) + \varepsilon_8, \\
 I_4 R_4 &= \varphi(4) - \varphi(1) - \varepsilon_4
 \end{aligned}
 \tag{5.46}$$

R_i to'la qarshilik bo'lib, tok manbaining ichki qarshiligi ham kiradi.

Bu tengliklarni qo'shsak, o'ng tomondagi potentsiallar ayirmasi qisqarib ketadi va ega bo'lamiz:

$$I_1 R_1 + I_6 R_6 + I_8 R_8 + I_4 R_4 = \varepsilon_1 - \varepsilon_6 + \varepsilon_8 - \varepsilon_4 \tag{5.47}$$

Umumiy ko'rinishda

$$\sum_{i=1}^n I_i R_i = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i \tag{5.48}$$

ya'ni ixtiyoriy yopiq kontur bo'yicha kuchlanish tushuvlarning yig'indisi shu konturdagi EYuKlar yig'indisiga tengdir (Kirxgof II qoidasi).

Mavzu bo'yicha testlar.

1. O'tkazgichning geometrik o'lchamlariga bog'liq bo'lgan elektr qarshilikning ifodasini aniqlang.

A. $R = \rho \frac{l}{S}$;

B. $R = \frac{U}{J}$;

C. $R = R_0(1 + \alpha)$;

$R = \rho \frac{S}{l}$.

2. Elektr tokining yo'nalishi uchun nimaning tartibli yo'nalishi qabul qilingan?

A. Musbat zaryadlarning;

B. Ionlarning;

C. Elektronlarning;

D. Manfiy zaryadlarning.

3. O'tkazgichning geometrik o'lchamlariga bog'liq bo'lgan elektr qarshilikning ifodasini aniqlang.

A) $R = \rho \frac{l}{S}$;

B) $R = \frac{U}{J}$;

C) $R = R_0(1 + \alpha)$;

D) $R = \rho \frac{S}{l}$.

4. Agar o'tkazgichning uzunligi 4 marta oshirilsa, ko'ndalang kesim yuzi esa 2 marta kamaytirilsa uning qarshiligi qanda o'zgaradi?

A. 8 marta oshadi;

B. 8 marta kamayadi;

C. 2 marta kamayadi;

D. 2 marta oshadi.

5. Har birining qarshiligi 1 Om bo'lgan o'zaro ketma-ket ulangan 10 ta o'tkazgichning to'la qarshiligi nimaga teng?

A. 10 Om;

B. 0,1 Om;

C. 1 Om;

D. 5 Om.

6. Turli qarshilikli o'tkazgichlar o'zaro qanday ulanganda, ulardagi tok kuchlari bir bo'ladi.

A. Ketma-ket;

B. Parallel;

C. Aralash;

D. Bunday ulash mavjud emas.

7. Turli qarshilikli o'tkazgichlar o'zaro qanday ulanganda, ulardagi kuchlanishlar bir xil bo'ladi.

A. Parallel;

B. Ketma-ket;

C. Aralash;

D. Bunday ulash mavjud emas.

8. Qarshiligi 10 Om bo'lgan sim o'tkazgich 10 ta bo'lakka bo'linib, bo'lakchalar o'zaro parallel ulansa qanday elektr qarshilik hosil bo'ldi?

A. 0,1 Omli;

B. 1 Omli;

C. 0,01 Omli;

D. 10 Omli;

9. O'zgarmas tokning ishi (A) va quvvatini (R) hisoblash ifodalarini ko'rsating?

$$A. A = JU = J^2 R t = \frac{U^2}{R} t, \quad P = JU = J^2 R = \frac{U^2}{R};$$

$$B. A = JU/t = J^2 R/t = \frac{U^2}{Rt}, \quad P = JU = J^2 R = \frac{U^2}{R};$$

$$C. A = qUt = q^2 R t = \frac{U^2}{R} t, \quad P = JU = J^2 R = \frac{U^2}{R};$$

$$D. A = JU = J^2 R t = \frac{U^2}{R} t, \quad P = \frac{J}{U} = \frac{J^2}{R} = \frac{U^2}{R};$$

10. Joul – Lens qonuni ifodasining integral va differensial ko‘rinishlarini ko‘rsating.

A. $Q = J^2 R t, \quad \omega_Q = \sigma E^2;$

B. $Q = \frac{U^2 R}{t}, \quad \vec{j} = \sigma \vec{E};$

C. $Q = J^2 E t, \quad \omega_Q = \rho E^2;$

D. $Q = J^2 R t, \quad \omega_Q = \sigma E.$

11. Tok kuchining formulasi va o‘lchov birligi qaysi.

A) $I = \frac{q}{t}; A$ B) $I = q t; A$ C) $I = \frac{t}{q}; V$ D) $I = q t; F$

12. Tokning zichligining formulasi qaysi.

A) $j = \frac{S}{I}$ B) $j = I \cdot S$ C) $j = \frac{I}{S}$ D) $j = I + S$

13. Zanjirning bir qismi uchun Om qonunining formulasi qaysi.

A) $I = \frac{R}{U}$ B) $I = U \cdot R$ C) $I = \frac{U}{R}$ D) $I = U - R$

14. Om qonunining differensial formadagi formulasi.

A) $j = \frac{\sigma}{E}$ B) $j = \sigma \cdot E$ C) $j = \frac{E}{\sigma}$ D) $j = E - \sigma$

15. Elektr yurituvchi kuchning formulasi va o‘lchov birligi qaysi.

A) $\varepsilon = \frac{q}{A};$ B) $\varepsilon = \frac{A}{Q};$ C) $\varepsilon = A - q;$ D) $\varepsilon = q - A$

Mavzu bo‘yicha savollar.

1. Elektr toki deb nimaga aytiladi?
2. Elektr tokining asosiy xarakteristikalarini ayting
3. Tok kuchi nima va uning o‘lchov birligi?
4. O‘zgarmas elektr toki qonunlarini tushuntiring.
5. O‘zgarmas tokning bajargan ishi va quvvati.
6. Om va joul-Lens qonunlarining integral va differensial ko‘rinishlari.
7. Elektr yurituvchi kuch nima?
8. Zanjirning bir qismidagi EYuK, ish, kuchlanish va potentsiallar ayirmasining fizik ma’nolarini ayting.
9. O‘zgarmas tok manbalari haqida tushuncha bering.
10. To‘liq zanjir uchun Om qonuni.
11. Kirxgof qonunlari.
12. O‘ta o‘tkazuvchanlik.
13. O‘tkazgichlarning qarshiligini tushuntiring.
14. Metallarda elektr toki tushunchasini izohlang.
15. Metallar elektr o‘tkazuvchanligining klassik–elektron nazariyasi ayting

6-mavzu. Suyuqliklarda elektr toki

§23. Suyuqliklarda elektr toki. Elektrolitlar. Kationlar va anionlar. Ionlarning rekombinatsiyalanishi.

Suyuqliklar ham xuddi qattiq jismlar kabi, o'tkazgich yoki dielektrik bolishi mumkin. Masalan, kislotalar va ishqorlarning suvdagi eritmasi elektr tokini o'tkazadilar. Tosa suv (H_2O) elektr tokini o'tkazmaydi, ya'ni dielektrik. Tuzlar, kislatalar oksidlarning suvdagi eitmasiga elektrolitlar deyiladi. Yuqorida aytilgan moddalar molekulalari suvda eriganda ionlarga dissotsiyalanadi ya'ni musbat va manfiy ionlarga ajraladilar Bunday jarayon eletrolitik dissotsatsiya deyiladi. Elektr tokini o'tkaziladigan moddalar *elektrolitlar* deyiladi. Elektrolitlarga asosan tuzlar, kislotalar va ishqorlar kiradi. Elektrolit va eritgich molekulalari *dipol* molekulalari bo'ladi. Shuning uchun eritmada elektrolitning har bir molekulasini bir gruppaga eritgich molekulalari o'rab turadi. Eritgich molekulalari xuddi elektrolit molekulasini ikki qismga bo'lib yuborishga intiladi; bunga shuningdek issiqlik harakati – elektrolit atom va molekulalarning tebranishi ham yordam beradi. Natijada elektrolitning ko'pchilik molekulalari musbat ionlarga (*kationlar*) va manfiy ionlarga (*anionlarga*) ajraladi; masalan, NaCl molekulasini suvdagi eritmada Na^+ kationlariga va Cl^- ionlariga ajraladi. Bunda albatta, eritgichning ba'zi molekulalarining o'zi ham ionlarga ajralishi mumkin. Bunday prsess *elektrolitik dissotsiatsiya* deyiladi. Teskari protsess – elektrolit ionlarining neytral molekulalariga birlashishiga (*rekombinatsiyalanishiga*) – ionlarda hosil bo'ladigan va eritgich molekulalaridan tuzilgan *solvat qobig'i* to'sqinlik qiladi. Suyukliklar ham xuddi qattiq jismlar kabi, o'tkazgich yoki dielektrik bo'lishi mumkin. Masalan, kislotalar va ishqorlarning suvdagi eritmasi elektr tokini o'tkazadilar. Toza suv (H_2O) elektr tokini o'tkazmaydi, ya'ni dielektrik. Tuzlar, kislatalar oksidlarning suvdagi eitmasiga elektrolitlar deyiladi. Yuqorida aytilgan moddalar molekulalari suvda eriganda ionlarga dissotsiyalanadi ya'ni musbat va manfiy ionlarga ajraladilar

§24. Elektrolitik dissotsiatsiya. Elektroliz hodisasi.

Elektrolit dissotsilangan molekulari soni n ning uning umumiy molekulari soni n_0 ga nisbati *dissotsiatsiya darajasi* yoki *koeffitsienti* deyiladi:

$$\alpha = \frac{n}{n_0} \quad (6.1)$$

(n va n_0 sonlar eritmaning birlik hajmiga tegishlidir, ya'ni mos konsentratsiyalardan iboratdir). Dissotsiatsiya darajasi elektrolit va eritgichning tabiatiga, elektrolitning konsentratsiyasiga n_0 va temperaturaga bog'liqdir. Kuchsiz eritmalarda ($n_0 \rightarrow 0$) elektrolitning deyarli hamma molekulari dissotsilangan ($\alpha \approx 1$); konsentratsiya ortishi bilan dissotsiatsiya darajasi kamayadi (rekombinatsiya hisobiga). Temperatura ortishi bilan α ortadi, chunki temperatura ortganida elektrolit molekularidagi atomlarning tebranma harakati oshib, bu molekularlarning ionlarga ajralishiga yordam beradi.

Elektr maydoni bo'lganda elektrolit ionlari o'zlarinig solvat qobiqlari bilan birga xaotik harakat qiladi. Maydon bo'lganida ularning harakait tartiblanadi: kationlar maydon bo'ylab, anionlar maydonga qarshi yo'nalishda harakatlanadi. Suyuqlikda turli ismli ionlarning qarama-qarshi harakati tufayli elektr toki hosil bo'ladi. Bunday tur o'tkazuvchanlik *ion o'tkazuvchanlik* deb ataladi.

Yuqorida ko'rsatilgan eritmalaridan tashqari, tuzlarning eritmaları (quyuq) va metallarning oksidlari ham ion o'tkazuvchanlikka ega: ular ham elektrolitlar gruppasiga kiradi.

Suyuqlikdagi tok zichligi i , ya'ni ionlarning harakat yo'nalishiga fikran perpendikulyar 1 cm^2 yuzadan 1 sek da olibo'tilgan zaryadni aniqlaymiz. Zaryadlar har ikkala ishorali ionlar tomonidan olib o'tilgani uchun

$$i = q_+ n_+ v_+ + q_- n_- v_- ,$$

bu yerda q_+ va q_- - kation va anionlar zaryadlari, n_+ va n_- - shu ionlarning konsentratsiyalari, v_+ va v_- - shu ionlar tartibli harakatining o'rtacha tezliklari. Eritma umuman olganda neytral ekanini hisobga olgan holda quyidagicha yozish mumkin:

$$q_+ n_+ = q_- n_- = qn, \quad (6.2)$$

bu yerda q - ixtiyoriy ishorali ionning zaryadi, n - shu ishorali ionning konsentratsiyasi. Ion zaryadining kattaligi molekulaning

dissotsiatsiyalanishida yo'qotilgan (kationlar uchun) yoki saqlab qolingani (anionlar uchun) *valentli elektronlar* bilan bog'liqdir. Shuning uchun ionning valentligini z bilan belgilab, shunday yozamiz:

$$q = ez, \quad (6.3)$$

bu yerda e – elektron zaryadining absolyut qiymati. U holda (6.2) va (6.3) formulalarni hisobga olgan holda quyidagini yozamiz:

$$i = ezn(v_+ + v_-). \quad (6.4)$$

Elektr maydonida ion harakatiga ikki kuch ta'sir ko'rsatadi: birinchidan, tezlatuvchi elektr kuchi

$$F_e = qE,$$

bu yerda E – maydon kuchlanganligi, ikkinchidan, suyuqlikning ichki ishqalanish -tormozlovchi kuchi F_{ishq} . Agar ionni uning solvat qobig'i bilan birga r adiusli shar deb olsak, Stoks qonuniga ko'ra:

$$F_{ishq} = 6\pi\eta r v,$$

bu yerda η - suyuqlik yopishqoqlik koeffitsienti. Barqarorlashgan harakatda (bu harakat amalda maydon paydo bo'lishi bilan bir vaqtda boshlanadi) $F_e = F_{ishq}$ bo'ladi, bundan

$$v = \frac{q}{6\pi\eta r} E = uE, \quad (6.5)$$

bu yerda

$$u = \frac{q}{6\pi\eta r} \quad (6.6)$$

kattalik *ionning harakatchanligi* deyiladi, (6.5) formuladan $E = 1$ bo'lganda $u = v$ ekanligi kelib chiqadi. Shunday qilib, ionning harakatchanligi birlik kuchlanganlikli elektr maydoni ta'sirida bu ionning qilgan tekis harakati tezligiga teng ekan, (6.6) formuladan ionlarning harakatchanligi temperatura ortishi bilan (suyuqlikning η yopishqoqligi kamayishi hisobiga) ortishi ko'rinib turibdi. Xona temperaturasida $u \approx 5 \cdot 10^{-8} m^2/(v \cdot sek)$.

(6.4) formulani nazarga olib, tok zichligi formulasi (6.5) ni quyidagi ko'rinishda qayta yozamiz:

$$i = ezn(u_+ - u_-)E, \quad (6.8)$$

yoki

$$i = \gamma E, \quad (6.9)$$

bu yerda

$$\gamma = ezn(u_+ - u_-). \quad (6.10)$$

SHunday qilib, (6.9) va (6.10) ifodalar suyuqlik uchun *differensial shakldagi Om qonunidan* iboratdir; γ suyuqlikning solishtirma elektr o'tkazuvchanligi deyiladi,

$$\rho = \frac{1}{\gamma \, ezn(u_+ - u_-)} \quad (6.11)$$

kattalik esa suyuqlikning solishtirma qarshiligidir. Temperatura ko'tarilishi bilan ionlarning u harakatchanligi va n konsentratsiyasi ortganligi uchun temperatura ko'tarilishi bilan suyuqlikning qarshiligi kamayadi (bu jihatdan metall o'tkazgichlarning qarshiligidan farq qiladi).

Elektrolitlarning ionlari elektrodga etib kelib neytrallanadi (neytral atomlarga aylanadi) va elektrodga o'tirib qoladi (anionlar – anodga, kationlar – katodga) yoki elektrodlar oldida gaz tariqasida ajraladi (birlamchi reaksiya). Ko'pincha neytrallashgan ionlar eritgich bilan yana qaytadan reaksiyaga kiradi, yangi ionlar hosil qiladi, bu ionlar so'ngra elektrodlarda o'tirib qoladi (ikkilamchi reaksiya).

§25. Elektroliz uchun Faradey qonunlari. Elektrokimyoviy ekvivalent. Kimyoviy ekvivalent.

Elektrolit eritmasi orqali tok o'tganida eritmaning ajralish mahsulotlarining elektrodlarda ajralishi *elektroliz* deyiladi. Elektroliz hodisasi *elektroforezning* xususiy holi ekanligini qayd qilib o'tamiz.

Elektrolizning miqdoriy qonunlarini ingliz fizigi Faradey 1836-yilda aniqlagan. Ion o'tkazuvchanlik haqidagi tasavvurlar asosida bu qonuniyatlarni nazariy isbot qilish qiyin emas.

Agar t vaqt ichida elektrodda har birining valentligi z va massasi m bo'lgan n' ionlar neytrallashgan bo'lsa, u holda elektrod zaryad oladi,

$$q = ezn',$$

bu yerda e – elektron zaryadi. Bunda elektrodda ajralgan modda massasi

$$M = mn'$$

bo'ladi. Quyidagi

$$\frac{M}{q} = \frac{m}{ez} = k \quad (6.12)$$

munosabat ayni shu modda uchun o'zgarmas kattalik bo'lib, shu moddaning *elektrokimyoviy ekvivalenti* deyiladi. Elektrokimyoviy ekvivalent eritma orqali elektr *miqdori* birligi o'tganida elektrodda

ajraladigan modda miqdoriga tengdir. Kumush uchun masalan, $k = 1,118 \text{ mg/k}$, mis uchun $k = 0,329 \text{ mg/k}$.

$$M = kq = kIt \quad (6.13)$$

ekanligi kelib chiqadi, bu yerda I - eritma orqali o'tayotgan tok kuchi. Bu munosabat **Faradeyning birinchi qonunini** ifodalaydi: *elektrodda ajralgan moddaning massasi eritma orqali o'tuvchi elektr miqdoriga proporsional*.

k ning ifodasini (6.12) Avogadro soni N ga ko'paytiramiz va bo'lamiz:

$$k = \frac{Nm}{Ne}$$

$Nm=A$ modda kilogramm-atomining massasi ekanini hisobga olgan holda, quyidagini hosil qilamiz:

$$k = \frac{1}{F} \frac{A}{z}, \quad (6.14)$$

bu yerda

$$F = Ne \quad (6.15)$$

Faradey soni deb ataluvchi *universal* doimiy; $\frac{A}{z}$ nisbat moddaning kimyoviyekvivalenti deb ataladi. (6.14) formula **Faradeyning ikkinchi qonunini** ifodalaydi: *moddaning elektrokimyoviy ekvivalenti uning kimyoviy ekvivalentiga proporsional*.

Faradeyning ikkala qonunini birlashtirib, shunday ifodani hosil qilamiz:

$$M = \frac{1}{F} \frac{A}{z} q = \frac{AIt}{Fz} \quad (6.16)$$

bundan $M = \frac{A}{z}$ bo'lganda $F = q$ ekanligi kelib chiqadi, ya'ni

Faradey soni kattalik jihatidan shunday elektr miqdoriga tengki, bu elektr miqdori eritma orqali o'tganida elektrodda bir kilogramm ekvivalent modda ajraladi.

Tajriba ma'lumotlariga ko'ra,

$$F = 9,652 \cdot 10^7 \text{ C/kg-ekv.}$$

Faradey soni va Avogadro soniga ko'ra elektron zaryadi kattaligini aniqlash mumkin:

$$e = \frac{F}{N} = \frac{9,652 \cdot 10^7}{6,025 \cdot 10^{26}} \approx 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ (C)}.$$

§26. Texnikada elektrolizni qo'llanilishi

Texnikada elektrolizdan juda keng foydalaniladi. Elektroliz yo'li bilan ba'zi metallar (masalan, Al_2O_3 oksidi boksitlar quyuq eritmasidan alyuminiy) olinadi va elektrdan boshqa metodlar bilan olingan ko'p metallarni aralashmalardan tozalanadi (*elektr rafinlash*). Tegishli eritmalarni elektroliz qilish yo'li bilan ba'zi gazlar (kislorod, vodorod, xlor va boshqa gazlar) va og'ir suv olinadi. Elektroliz yordamida turli buyumlar metall qatlami bilan qoplanadi (*galvanostegiya*), shuningdek, kerakli buyumlarning relefi metall nusxalari, masalan, tipografiya klisherlari tayyorlanadi (*galvanoplastika*). Akkumulyatorlarni zaryadlash elektrolizga asoslangan.

Jonivor va o'simlik organizmlarining suyuqliklari elektrolitlarning eritmaları ekanini qayd qilamiz. Shuning uchun tirik organizmdan o'zgarmas tok o'tganida organizmda kimyoviy reaksiyalar va elektr zaryadlarining qayta taqsimlanishi ro'y beradi, bu organizmda turli-tuman seskanishlar hosil qiladi. Shu bilan birga, seskanishlar baliqni suvda hosil qilingan elektr maydoniga qarshi suzishga majbur qiladi. *Elektr bilan baliq tutish* shunga asoslangan (baliq tutadigan to'r ichiga tok manbaining musbat qutbiga ulangan elektrod joylashtiriladi). Elektrolizdan toza mis, alyuminiy olishda, nikellash, xromlash, nusxa ko'chirishda, galvanoplastikada foydalaniladi.

Biologik to'qimalarning qarshiligi unchalik katta bo'lmagan ob'yektlardir. Ularning qarshiligi elektr maydoni ta'sirida o'zgaradi. Odam organizmidan o'tuvchi tok kuchi uning qarshiligidan bog'liq. Terining solishtirma qarshiligi $10^3 \Omega \cdot m$ sog'lom teri. Teri quruq bo'lsa, qo'l uchlari orasidagi qarshilik 15000Ω . Ayniqsa Otning qarshiligi kichik. Odam uchun xavfsiz bo'lgan tok kuchi Otni o'ldirishi mumkin. Tajribalarning ko'rsatishicha, sitoplazma, tirik hujayra, ayrim to'qimalarning o'zgarmas tok qarshiligi ancha kattadir. Turli to'qimalar elektr o'tkazuvchanligi bir-biridan ancha farq qiladi. Orqa miya suyuqligi, qon, limfa tokni yaxshi o'tkazadi, muskullar, jigar, yurak, o'pka muskullari tokni yomonroq o'tkazadi. Yog' va suyak to'qimalari, teri ulardan ham yomon o'tkazadi. Hujayraning elektr xossalari ham ancha murakkabdir. Sitoplazmaning solishtirma qarshiligi 0,1 dan $300 \Omega \cdot m$ chegarasida yotadi. Hujayra membranasi 1 cm^2 yuzining qarshiligi

$10^3-10^4 \Omega \cdot m$ gacha bo'ladi. Biologik sistemalardan tok o'tishiga hujayrada ro'y beradigan qutblanish hodisalari ancha ta'sir qiladi

Mavzu yuzasidan testlar

1. Moddaning elektrokimyoviy ekvevalenti uning kimyoviy ekvivalentiga to'g'ri proparsional ekanligini ko'rsatuvchi ifodani toping.

A) $k = \frac{1A}{Fz}$ B) $m = kq$ C) $m = \frac{1A}{Fz}q$ D) $k = \frac{A}{z}q$

2. Faradey 1-qonunini ko'rsating.

A) $m = klt$ B) $m = \frac{1A}{Fz}q$ C) $j = \gamma E$ D) $m = \frac{A}{z}$

3. Suyuqliklarda elektr tokini ... tartibli harakati hosil qiladi.

- A) Ionlarning B) Elektronlarning; C) Ionlar va elektronlarning;
D) Elektronlar va musbat zaryadli kovakchalarning.

4. Elektr tokining yo'nalishi uchun nimaning tartibli yo'nalishi qabul qilingan?

A) Musbat zaryadlarning; B) Ionlarning; C) Elektronlarning; D) Manfiy zaryadlarning.

5. Elektrolitlar va gazlar uchun (to'yinishgacha) Om qonunining differensial ko'rinishini aniqlang.

A) $\vec{j} = q_n(b_+ + b_-)\vec{E}$; B) $\vec{j} = \rho\vec{E}$; C) $\vec{j} = \sigma\vec{E}$; D) $j = zq \cdot d$.

6. Harakatlanayotgan suyuqlik zarralarining to'plamiga ... deyiladi. Nuqtalar o'ringa mos so'zni qo'ying?

- A) oqish. B) oqim. C) ko'chish. D) to'plam.

7. ... suyuqlik ichidagi shunday hayoliy chiziqki, uning har bir nuqtasiga o'tkazilgan urinma chiziq urinish nuqtasi orqali o'tayotgan suyuqlik zarrasi oniy tezligining yo'nalishiga mos bo'ladi. Nuqtalar o'rniga mos so'zni qo'ying

- A) Oqim yo'nalishi; B) Oqim yo'li; C) Oqim chizig'i;
D) Oqim;

8. Moddaning elektrokimyoviy ekvevalenti uning kimyoviy ekvivalentiga to'g'ri proparsional ekanligini ko'rsatuvchi ifodani toping.

A) $k = \frac{1A}{Fz}$ B) $m = kq$ C) $m = \frac{1A}{Fz}q$ D) $k = \frac{1q}{Fz}$

9. Ikkinchi tur o'tkazgichlarni ko'rsating

- A) Barcha metallar B) Barcha nometallar C) Oksidlar, ishqor va kislotalar
D) Bunday tur o'tkazgichlar mavjud emas

10. Suyuqliklarda elektr tokini qanday zarrachalar tashiydi

A)Elektronlar B)protonlar C) Ionlar D)Manfiy zarjadlar

Mavzu yuzasidan savollar

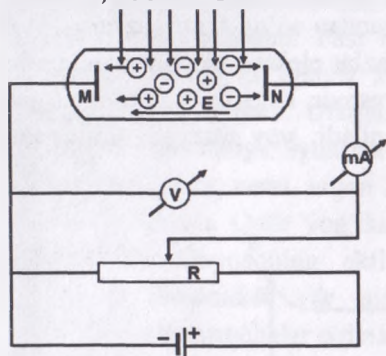
1. Suyuqliklarda elektr tokini izohlang.
2. Elektrolitlar haqida tushuncha bering
3. Elektrolitik dissosasiya haqida ma'lumot bering
4. Elektroliz hodisasini tushintiring.
5. Kimiyoviy ekvivalentga tushuncha bering
6. Elektrokimiyoviy ekvivalentga tushuncha bering
7. Faradey qonunlarini izohlang.
8. Faradey soni nimani anglatadi
9. Elektroliz hodisasining fan va tenikada qollanilish aytib bering.
10. Faradeyning umumlashgan qonunini izohlang.

§27. Gazlarda elektr toki. Ionlanish va rekombinatsiyalanish jarayonlari. Gaz razryadining to'liq volt-ampere xarakteristikasi.

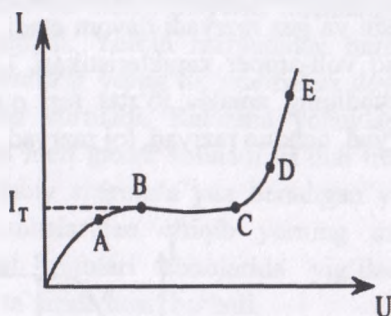
Barcha gazlar elektr jihatdan neytral bo'lib, ular oddiy jarayonda dielektrik hisoblanadi. Chunki ular neytral atom va molekulalardan iborat bo'lib, erkin zaryad tashuvchi (elektron, ion) larga ega emas. Ma'lum sharoitda gaz molekularini ionlashtirish yo'li bilan gazlarda elektr tokini vujudga keltirish mumkin. Tashqi ionizator (ultrabinafsha, rentgen va gamma nurlanish va h.k.) lar ta'sirida neytral molekulari ionlashadi, ya'ni erkin elektronlarga va ionlarga ajraladi. Ionlashgan gazda erkin elektronlar, musbat va manfiy ionlar mavjud bo'ladi. Ionlanish jarayoni bilan bir qatorda unga teskari bo'lgan rekombinatsiyalanish jarayoni ham kuzatiladi. Bunda musbat ionlar erkin elektronlar bilan qo'shilib neytral gaz molekulasi (atomi) ni hosil qiladi. Gaz orqali elektr tokining o'tishiga *gaz razryadi* deyiladi. Tashqi ionizator ta'siri to'xtagandan so'ng so'nadigan gaz razryadiga *nomustaqil gaz razryadi* deyiladi. Bunda gazning nomustaqil o'tkazuvchanligi namoyon bo'ladi. Tashqi ionizator ta'siri to'xtagandan so'ng ham so'qmaydigan gaz razryadiga *mustaqil gaz razryadi* deyiladi. So'qmaydigan gaz razryadi paytida gazning mustaqil o'tkazuvchanligi kuzatiladi.

Gazlar uncha yuqori bo'lmagan haroratda va atmosfera bosimi sharoitida yaxshi izolyator hisoblanadi. Bu esa quruq havoda gaz molekulari elektr neytral hisoblanadi. Gaz o'tkazuvchan bo'lishi uchun uning molekulari ionlashuvi zarur, ya'ni neytral molekula ionlarga va erkin elektronlarga parchalanadi. Buning uchun gazni biror ionizator bilan ta'sir qildirish kerak. Bu ta'sirlar quyosh energiyasi, issiqlik energiyasi va hokazo bo'lishi mumkin. Ionlashgan gazda musbat va manfiy ionlar va erkin elektronlar bo'ladi. Molekuladan (atomdan) elektron urib chiqarish uchun energiya sarflash zarur. Bunga ionizatsiya energiyasi deyiladi va u taxminan 4–25 eV ga teng. Ionizatsiya bilan bir vaqtda rekombinatsiya hodisasi ham bo'ladi. Umuman olganda gazning o'tkazuvchanligi hech qachon nolga teng emas. Gaz razryadi

xarakteri gaz turidan, haroratidan, bosimidan, elektrod o'lchaimi va shaklidan, kuchlanishdan va tok zichligidan bog'liq bo'ladi:



7.1-rasm. Gazlarda elektr tokini aniqlash qurilmasi



7.2-rasm. Volt-ampere xarakteristika

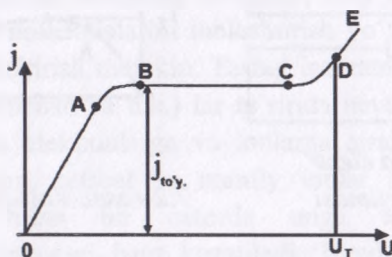
Gaz doimiy ionizator ta'sirida bo'lsin. Tajribada gaz razryadini kuzatib volt-ampere xarakteristikasini olish mumkin (7.2-rasm). OA -qismda kuchlanish oshishi bilan tok ham oshadi, ya'ni Om qonuni bajariladi. Kuchlanishning keyingi oshuvida (AB qism) tok oshuvi sekinlashadi. BS qismda esa tok umuman oshmaydi. BS qismda ionizatorida hosil bo'lgan zaryadlar vaqt birligi ichida hammasi elektrodlarga borib yetada. Bunga to'yinish toki deyiladi. OC qismda ionizator ta'siri olinsa gaz razryadi ham to'xtaydi. Tashqi ionizator ta'siri tufayli hosil bo'ladigan gaz razryadiga mustaqilmas gaz razryadi deyiladi. Kuchlanishning keyingi oshuvida (CD) tok sekin oshib boradi va DE qismda tez oshadi.

§28. Mustaqil va mustaqil bo'lmagan gaz razryadlari.

Tashqi ionizator ta'siri to'xtatilgandan so'ng ham davom etadigan gaz razryadiga mustaqil gaz razryadi deyiladi.

Mustaqil gaz razryadi vujudga kelish shartlarini qarab chiqamiz. Katta kuchlanish ostida elektronlar zarbi ta'siridan ionlanish boshlanadi va gaz orqali tok zichligi yana orta boshlaydi (CD - qism). Kuchlanishning qiymatini yanada orttirilib, U_T teshish kuchlanishi qiymatiga tenglashganda mustaqil gaz razryadi vujudga keladi (DE - qism). Elektron zarbi ta'siridan ionlanish termoelektron va ikkilamchi

elektron emissiya jarayonlari tufayli gaz qatlamida elektronlar va ionlar ko'chkisi hosil bo'ladi. Bu holat mustaqil gaz razryadini ta'minlaydi. Natijada tashqi ionizator ta'siri to'xtagandan so'ng ham gaz orqali tok o'tishi va gaz razryadi davom etadi. Gazlar elektr o'tkazuvchanligining to'liq volt-ampere xarakteristikasi 7.3-rasmda keltirilgan. So'nmas gaz razryadining amalda to'rtta turi o'rganiladi: yoy razryadi, miltillama razryad, uchqun razryad, toj razryad.



7.3-rasm. Mustaqil gaz razryadi volt-ampere xarakteristikasi

§29. Mustaqil gaz razryadlarining turlari va ularning qo'llanilishi.

Mustaqil gaz razryadi bir qancha turlarga bo'linadi:

1. **Uchqun razryadi.** Katta elektr maydon kuchlanganligida (30000 V/cm) normal yoki yuqori bosimda yuz beradi. Uziq-uziq, uzun va chirsillagan tovush eshitiladi. Bunga tabiatda ro'y beradigan yashin misol bo'la oladi. Yashin uzunligi bir necha kilometr, davom etish vaqti 10^{-6} s , kanal kengligi 25 cm , tok kuchi 10^5 A , kuchlanish million volt atrofida bo'ladi. Plazma hosil qilishda ham ishlatiladi.

2. **Toj razryadi.** Bir jinsli bo'lmagan elektr maydoni, normal yoki yuqori bosimli gazlarda o'tkir uchli elektrodlar orasida bo'ladi. Bu razryad yuqori kuchlanishli elektr simlari yaqinida, machtalar uchida hosil bo'ladi. Yashin qaytargich prinsipi tok razryadiga asoslangan. Atmosferada hosil bo'ladigan momoqaldiroqda kuchli kuchlanish ta'sirida yashin qaytargich uchida tok razryadi hosil bo'ladi va binoni himoya qiladi.

3. **Yoy razryadi.** Bu razryad bir-biriga yaqin joylashgan ikkita elektrod orasida bo'ladi. Kuchlanish uncha katta emas, taxminan 60 V

atrofida. Atmosfera bosimida uning harorati 5000–6000 K tok zichligi 1000 A/mm^2 atrofida bo'ladi. Buni 1802 yili Poton kashf qilgan.

4. *Yolqin razryad*. Past bosim va elektr maydon kuchlanganligi katta (80 V/cm) bo'lganda kuzatiladi. Yolqin razryadidan nurlanish lampalarida ishlatiladi. Ularga kunduzgi yorug'lik manbalari deyiladi. Shisha balon ichiga lyuminaforlar surtiladi. Reklama yozuvlaridagi lampalarga geliy, neon, argon kabi inert gazlar solinadi va ular turli xil ranglarni beradi. Qutb yog'dusi tabiiy sharoitda yuz beradigan yolqin razryadidir. Quyoshning aktiv sohalaridan chiqib yerning magnit maydoni tomonidan yer magnit qutblari zonalarida yig'iladigan zaryadlangan zarrachalar oqimlari ta'sirida hosil bo'ladi.

§30. Plazma haqida tushuncha.

Kuchli ionlashgan gaz bo'lib, ularda musbat va manfiy ionlar soni taxminan teng. Yuqori haroratlarda hosil bo'ladigan va gaz razryadi vaqtida hosil bo'ladigan plazmalarni farqlash mumkin. Ionizasiya darajasiga binoan, kuchsiz, o'rtacha va kuchli ionlashgan plazmalar farqlanadi. Plazma yuqori o'tkazuvchanlikka ega, quyosh va yulduzlar asosan plazmadan tashkil topgan. Termayadro reaksiyasini amalga oshirishda ham plazma hosil bo'ladi. MGD–generatorlarda ishlatiladi, ya'ni to'g'ridan-to'g'ri issiqlik energiyasini elektr energiyasiga aylantiradi.

Plazmaning elektr o'tkazuvchanligi. Yetarli yuqori temperaturalarda atom va molekullarning to'qnashishi hisobiga gazning ionlashishi boshlanadi. Modda plazma holatiga o'tadi. Musbat va manfiy zaryadlar kontsentratsiyasi amalda bir xil bo'lgan yuqori darajada ionlashgan gaz holatiga plazma deyiladi. Plazmani butunicha olib qarasak, elektr jihatdan neytral bo'lgan sistemadir.

Plazma moddaning alohida holatidir, ya'ni uning shunday o'ziga xos xossalari borki, uni moddaning to'rtinchi agregat holati deyishga imkon beradi.

Plazmadagi zaryadli zarrachalar harakatchanliklari tufayli elektr va magnit maydonlari ta'sirida oson ko'chadi. Shuning uchun plazma ayrim sohalarining elektr jihatdan neytralligining bir xil ishorali zaryadlar to'planishi hisobiga buzilishi bartaraf qilinib turiladi.

Plazmaning zaryadli zarrachalari orasida Kulon kuchi ta'sir etadi. Har bir zarra o'z atrofidagi juda ko'p zarralar bilan o'zaro ta'sirlashadi. Shu tufayli plazning har bir zarrasi xaotik issiqlik haraqatida qatnashish bilan birga turli xil tartibli harakatda ham qatnashadi. Plazmada turli xil tebranishlar va to'liqlar hosil qilinadi. Plazma zaryadli zarrachalardan tashkil topgani uchun bu zarrachalar magnit maydoni kuch chiziqlari ko'ndalang yo'nalishda erkin ko'cha olmaydi va kuch chiziqlariga o'ralgan traektoriya bo'ylab harakat qiladi.

Plazma past temperaturali va yuqori temperaturali plazmaga bo'linadi. Past temperaturali plazmaga gaz razryadi natijasida hosil bo'lan gaz razryadli plazmalar kiradi. Ularning temperaturasi $T < 10^5$ K bo'ladi. Yuqori temperaturali plazmada gaz to'la ionlashgan (100%) holatda bo'ladi. Bu plazma juda ko'p miqdordagi tez harakatlanayotgan elektronlar va musbat ionlardan iborat bo'ladi. Yuqori temperaturali yoki izotermik plazmaning temperaturasi million gradusdan yuqori bo'ladi.

Koinotdagi moddalar asosan (99%) plazma holatida bo'ladi. Quyosh va yulduzlar to'liq ionlashgan plazmadan, ya'ni yuqori temperaturali plazma deyiladi. Bundan tashqari yuqori temperaturali plazma termoyadro sintezi jarayonda ham yuzaga keladi.

Plazmaning ionlanish darajasi ortgan sari elektr o'tkazuvchanligini ham ortadi. Yuqori temperaturada to'liq ionlashgan plazmaning elektr o'tkazuvchanligi o'ta o'tkazuvchalikka yaqinlashadi.

Mavzu yuzasidan testlar

1. Yuqori temperaturali plazmaning o'rtacha harorati qancha?

- A) 10^5 °C atrofida V) 10^6 °C atrofida S) 10^7 °C D) 10^8 °C

2. Gazlarda elektr tokini ... tartibli harakati hosil qiladi.

- A) Ionlar va elektronlarning; B) Ionlarning; C) Elektronlarning;
D) Elektronlar va musbat zaryadli kovakchalarning.

3. To'yingan emissiya tokining kattaligi Richardson—Deshman formulasi bilan aniqlanadishini ko'rsating.

$$A) j_t = S(1 - \bar{r})BT^2 e^{-\frac{A}{kT}} \quad B) j_t = C(1 - t)BT^2 e^{-\frac{A}{kT}}$$

$$C) j_t = S(1 - \bar{r})BT^2 e^{-\frac{\mu}{kT}} \quad D) j_t = S(1 - \bar{r})BT^2 e^{\frac{A}{kT}}$$

4. Elektr so'zi...

A) Grekcha so'z bo'lib "elektron" – qahrabo degan ma'noni bildiradi.

B) Grekcha so'z bo'lib "tok" degan ma'noni bildiradi.

C) Grekcha so'z bo'lib "zaryad" – degan ma'noni bildiradi.

D) Grekcha so'z bo'lib "kuch" degan ma'noni bildiradi.

5. Elektrik jihatdan butunlayicha neytral, qisman yoki to'liq ionlashgan moddaning holatiga ... deyiladi

A) Plazma, B) Ionlashgan gaz, C) Ionizator, D) Elektrolit

Mavzu yuzasidan savollar

1. Nomustaqil va mustaqil gaz razryadlari bir–birlaridan qanday belgilar bilan farqlanadi?

2. Mustaqil gaz razryadi turlarini izohlang.

3. Plazma hosil bo'lish shartini tushuntiring.

4. Gazlarda elektr toki qanday hosil bo'ladi?

5. Ikkinchi tur o'tkazgichni ta'riflang va undan zaryad tashuvchilarni asoslang.

6. Chaqmoq haqida tushuncha bering.

7. Yoy razryad va Yolqin fizik mohiyati hamda qo'llanish sohalarini tushuntiring.

8. Uchqun razryad va Toj razryadni fizik mohiyatini tushuntiring hamda misollar keltiring.

9. Gaz razryadi volt- amper xarakteristikasini tushuntiring.

10. Ionlanish va rekombinasiya hodisalarini tushuntiring.

§31. Vakuumda elektr toki. Elektronlar dastasi. Elektronlar emissiyasi.

Metallarni isitilganda uning sirtidan elektronlarning uchib chiqish hodisasi *termoelektron emissiya* deyiladi. Erkin elektronlar xotik harakati natijasida, bu elektronlarning ayrimlarini kinetik energiyasi, elektronlarning metallan chiqish ishidan kattaroq bo'ladi va ular metallan vakuumba chiqib ketadi. Natijada metall ma'lum miqdorga musbat zaryadlanadi va o'ziga emissiya natijasida chiqib ketayotgan elektronlarni torta boshlaydi. Shunday qilib, bir tomonidan elektronlar metallan emissiyalanib chiqsa, ikkinchi tomondan bu elektronlarni ma'lum qismi shu metall atrofida ushlanib qoladi va elektronlar bulutini hosil qiladi. Agar metallning tempuraturasi ko'tarilsa tabiiyki, emissiyalangan elektronlar soni, metallga qaytuvchi elektronlar sonidan katta bo'ladi. O'zgarmas temperaturada vaqt birligida metallan ajralib chiqayotgan elektronlar soni shu metallga qaytib kelayotgan elektronlar soniga teng bo'ladi.

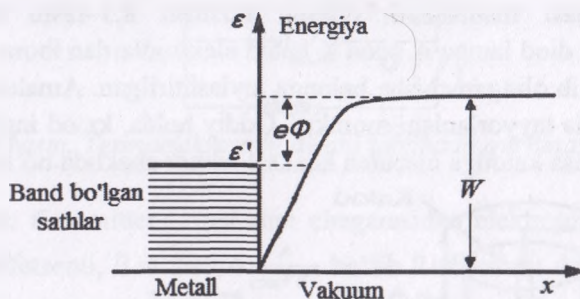
Erkin elektronlar metall ichida uzluksiz issiqlik harakatida bo'lgani bilan uning sirtidan chiqib keta olmaydi. Kinetik energiyasi katta bo'lgan ayrim elektronlargina metall sirtidan chiqib ketadi, undan bir necha atomlararo masofaga uzoqlashadi, so'ngra yana metall sirtiga qaytib tushadi. Natijada metall sirti yupqa elektron buluti bilan qoplangan bo'ladi. Bunday qatlamda metall sirtidan x masofada yotuvchi elektronga $F = -\frac{e^2}{4x^2}$ ga teng kuch ta'sir qiladi. Bu kuch elektron va panjaraning musbat ionlari orasidagi tortishishi tufayli paydo bo'ladi. Ana shu kuch potentsial o'ra (to'siq) ni vujudga keltiradi.

Elektron metall sirt qatlamidan chiqib ketishi uchun $e\varphi$ ga teng potentsial to'siqni engib, ma'lum ish bajarish kerak. Bu ishga *elektronning chiqish ishi* deyiladi.

Metalldagi erkin elektronlar Fermi-Dirak taqsimotiga bo'ysinadi. Shu tufayli elektronning chiqish ishi potentsial o'ra chuqurligi bilan Fermi sathi energiyasi ayirmasi ko'rinishida aniqlanadi (8.1-rasm):

$$A = e\varphi = W_0 - W_F \quad (8.1)$$

Bu erda e - elektron zaryadi, φ - sirt potentsial sakrashi, w_0 - potentsial o'ra chuqurligi, w_F - Fermi sath energiyasi.



8.1-rasm. Fermi sathi energiyasi

Ba'zibir metallar uchun elektron chiqish ishining elektron – volt (eV) larda ifodalangan qiymatlari quyidagi jadvalda keltirilgan:

Metall	Pt	Ni	W	Cu	Fe	Na	K
Termoelektron emissiya bo'yicha	6.3	4.61	4.25	4.26	4.04	2.28	1.93
Fotoeffekt bo'yicha	6.27	4.06	4.35	4.18	3.91	2.3	1.8

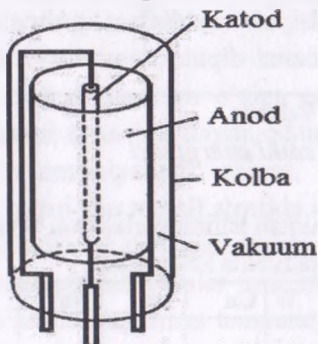
Agar elektronning kinetik energiyasi uning chiqish ishidan katta bo'lsa, elektron metall sirtidan chiqib keta oladi:

$$\frac{1}{2} m v_n^2 \geq e\varphi$$

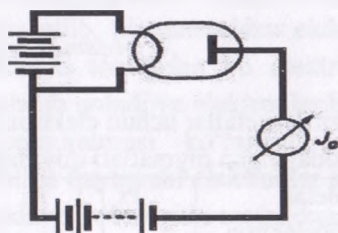
bu erda m – elektron massasi, v_n - elektron tezligining sirt normaliga proektsiyasi.

Uy temperaturasi sharoitida erkin elektronlarning ozgina qismi metall sirtidan chiqib ketish uchun yetarli kinetik energiya zonasiga ega bo'ladi. Metallni qizdirsak yetarli kinetik energiya zahirasiga ega bo'lgan elektron soni orta boradi va shu tufayli metall sirtidan ajralib chiquvchi elektronlar soni ham oshib boradi. Bu jarayon isitilayotgan suyuqlikdan suyuqlik molekulallarning bug'lanish jarayoniga o'xshaydi. Temperaturaning ortishi bilan metall sirtidan ajralib chiquvchi elektronlar soni ham ortib boradi va yetarli yuqori temperaturalarda bunday elektronlarning soni ham keskin ortib ketadi.

Termoelektron emissiya hodisasini 8.2-rasmda tasvirlangan sxema yordamida o'rganish mumkin. Sxemaning asosiy elementi vaakuumli diod lampasi hisoblanadi. Uning tuzilishi 8.3-rasm tasvirlangan. Vaakuumli diod lampasi anod K katod elektrodlardan iborat bo'lib, ular havosi so'rib olingan shisha balonga joylashtirilgan. Amalda elektrodlar turli shaklda tayyorlanishi mumkin. Oddiy holda, katod ingichka to'g'ri tola, anod esa katodga nisbatan koaksial silindr shaklida bo'ladi.



8.2-rasm. Termoelektron emissiya hodisasi



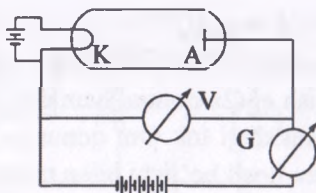
8.3-rasm. Vaakuumli diod lampasi

B_N batareya yordamida katod qizdiriladi va uning temperaturasi reostat orqali boshqariladi. B_A batareya anod va katod orasida elektrostatik maydon hosil qiladi va qizigan katoddan chiquvchi elektronlarni tezlatadi. Natijada katod va anod orasida vakuum orqali o'tuvchi elektronlar oqimi anod zanjirida tokni hosil qiladi. Vakuumli diod orqali o'tayotgan bu tokni anod toki yoki emissiya toki deyiladi.

§32. Termoelektron emissiya. Elektron lampalar. Boguslavskiy-Lengmyur tenglamasi.

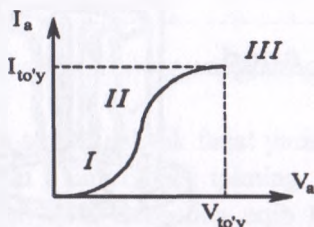
Termoelektron hodisani tajribada kuzatishning elektr sxemasi 8.4-rasmda ko'rsatilgan. Agar qizdirilgan metall vakuum trubkasining katodi sifatida sxemaga ulansa, anodda kuchlanish ortishi bilan elektr zanjirda emissiya toki hosil bo'lib, ortib boradi va bu tok kuchlanishining biror qiymatida to'yinadi. To'yingan emissiya tokining kattaligi Richardson–Deshman formulasi bilan aniqlanadi.

$$j_t = S(1 - \bar{r})BT^2 e^{-\frac{A}{kT}}$$



8.4-rasm. Termoelektron hodisani tajribada qurilmasi

bu yerda: $\bar{r}$ –emitter– vaakuum chegarasidan elektronlar qaytishi o‘rtacha koeffetsenti, $B = 120,4 \frac{A}{cm^2 \cdot C^2}$ bo‘lib Richardson doimiysi deb ataladi, S –metall – emittingning yuzi, A –elektronlarning metall dan chiqish ishi, k –Boltsman doimiysi e – natural logarifmning asosi. Agar katod qiyin eriydigan metall dan (masalan, volforamdan) yasalgan bo‘lsa, to‘yinish toki I_T ni olish uchun emitterini 2500 – 2600 K gacha qizdirish kerak bo‘ladi.



8.5-rasm. Anod tokining anod kuchlanishga bog‘liqlik grafigi

$$I = f(U_a),$$

u termoelektron emissiya elektr sxemasining (biz ko‘rayotgan holda diodining) volt amper xarakteristikasi (VAX) deyiladi, VAX grafigidan ko‘rinib to‘ribdiki, katoddan anodga yo‘nalgan elektronlar hosil qilgan termoelektron tok Om qonuniga bo‘ysinmaydi. Agar tok va kuchlanish bog‘lanishini

$$I = a_0 U_a^\alpha$$

ko‘rinishda approksimatsiya qilsak ($a_0 \sim \frac{1}{R}$ ga bog‘liq proporsionalik koeffitsiyent, α – ko‘rsatgich darajasi). 8.5- rasmdan ko‘rinib to‘ribdiki, I sohada $\alpha < 1$, II sohada $\alpha > 1$, III sohada $\alpha < 1$. tok bilan kuchlanishning II sohada bog‘liqligini

$$I = a_0 U_a^{3/2} \quad (8.1)$$

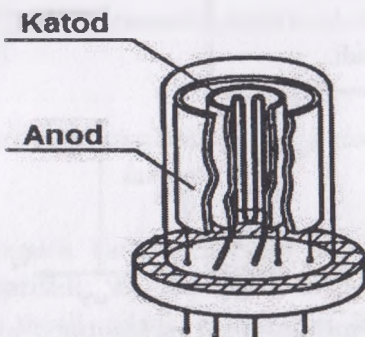
ko'rinishga ega ekanligini Boguslavskiy va Lengmyur tajribada aniqladilar. Bu ko'rinish «3/2» qonuni ham deb yo'rtiladi.

Katod va anod orasidagi tok Om qonuniga bo'ysinmasligini katod atrofida manfiy «bulut» hosil bo'lishi bilan tushuntirish mumkin.

Elektron emissiya hodisasi asoslangan vakuum lampalar yasash, elektron emissiya hodisasining fizik parametrlarini o'lchash va ularni tahlil qilishda ishlatiladi:

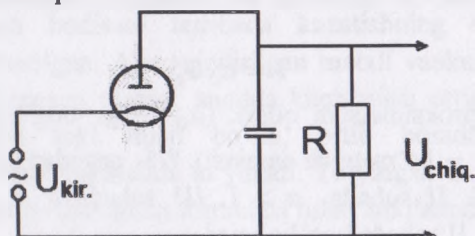
- 1) O'zgaruvchan tokni o'zgarmas tokka aylantirish, yani tug'rilagich sifatida;
- 2) Har xil chastotali elektr tebranishlarni kuchaytirish, hosil qilishda.

I. Vakuumli diod.

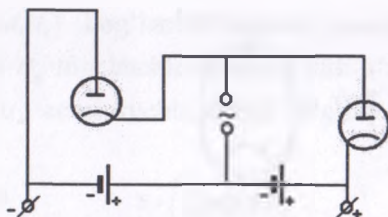


8.6-rasm. Vakuumli diod tuzilishi

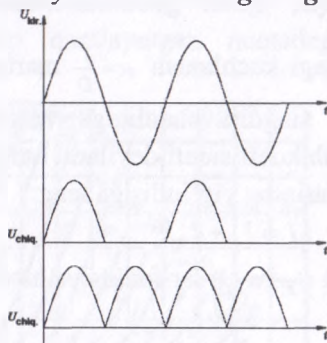
Vaakumli diodda anodga manfiy kuchlanish berilganda anod zanjirida tok hosil bo'lmaydi. Diodning bu xossasidan o'zgaruvchan tokni to'g'rilashda foydalaniladi. Bunday maqsad uchun mo'ljallangan diodga kenotron deyiladi. Kenotron o'zgaruvchan tokni o'zgarmas tokka to'g'rilagich sifatida qo'llaniladi.



8.7-rasm. Bir yarim davrli to'g'rilagich sxemasi



8.8-rasm. Ikki yarim davrli to'g'rilagich sxemasi



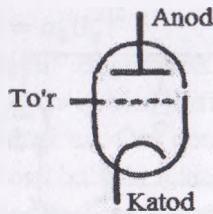
8.9-rasm. Kuchlanishning vaqtga bog'liqlik grafigi

Kenotronga berilgan sinusoidal tok faqat yarim davr davomida oqib turadi. Shuning uchun sinusoidal tokning bunday usul bilan to'g'rilanishini bir yarim davr davomida oqib turadi. Shuning uchun sinusoidal tokning bunday usul bilan to'g'rilanishini bir yarim davrli to'g'rilash deyiladi. Bir vaqtda ikkita kenotrongan foydalanib ikki yarim davrli to'g'rilashni amalga oshirish mumkin. Nagruzka orqali pulsatsiyalanuvchi tok oqadi. Pulsatsiyalanuvchi tokni filtrlash orqali tekislash mumkin. Buning uchun diod va nagruzka orasiga filtrlar ulanadi. Filtrlarning eng soddasi nagruzkaga parallel ulangan kondensatordan iborat.

II. Vakuumli triod. Triodning dioddan farq shundaki, tridda anod bilan katod orasiga (katodga yaqin) uchinchi elektrod boshqaruvchi to'r joylashtiriladi (55-rasm).

Uch elektrodli lampa orqali tok faqat U_a anod kuchlanishiga emas, shu bilan birga U_r to'r kuchlanishga ham bog'liq bo'ladi. Vakuumli triod uchun Lengmyur formulasi quyidagicha yoziladi:

$$I_a = B(U_r + DU_a)^{3/2} \quad (8.2)$$



8.10-rasm. Vakuumli triod

Anod tokiga to'rdagi kuchlanish $\mu = \frac{1}{D}$ martagacha kuchliroq ta'sir ko'rsatadi. To'rning singdiruvchanligiga teskari bo'lgan kattalikka lampaning kuchaytirish koeffitsienti deyiladi. Lampadagi to'la tok (katod toki) anod va to'r toklarining yig'indisiga teng:

$$I = I_a + I_g \quad (8.3)$$

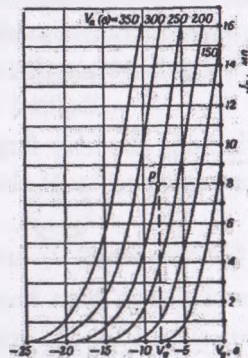
Ikkinchi tomondan U_g va U_a lar funktsiya hisoblanadi:

$$I = f(U_g, U_a) \quad (8.4)$$

ΔU_g va ΔU_a o'zgarishlarga mos I tokning o'zgarishi quyidagicha bo'ladi:

$$\Delta I = \left(\frac{\partial I}{\partial U_g} \right)_{U_a} \Delta U_g + \left(\frac{\partial I}{\partial U_a} \right)_{U_g} \Delta U_a \quad (8.5)$$

$I = f(U_g, U_a = \text{const})$ bog'lanish asosida triodning to'r xarakteristikasi hosil qilinadi. U_a - anod kuchlanishining turli o'zgarmas qiymatlarida I_a anod tokning U_g to'r kuchlanishiga bog'liq egri chiziqlar chiziladi (8.11-rasm).

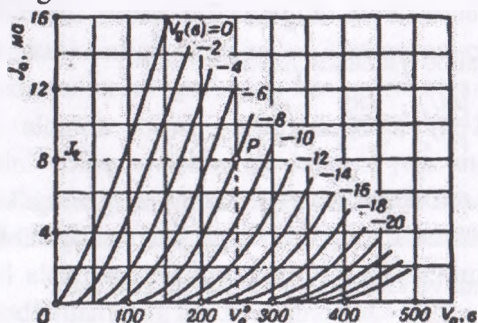


8.11-rasm. Anod tokning to'r kuchlanishiga bog'liqlik grafigi

$I = f(U_g = \text{const}, U_a)$ bog'lanish asosida anod xarakteristikasi hosil qilinadi. Bunda U_g to'rt kuchlanishining turli o'zgarish qiymatlarida I_a anod tokning U_a anod kuchlanishiga bog'liq egri chiziqlari chiziladi (8.12-rasm).

Quyidagicha
$$S = \left(\frac{\partial I}{\partial U_g} \right)_{U_a} \Delta U_g \quad (8.6)$$

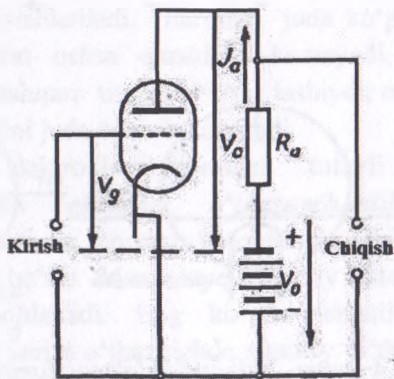
Bunga lampa xarakteristikasining tikligi deyiladi. Ravshanki, S xarakteristikaning tikligi qaralayotgan nuqtadagi qiyalik burchagi tangensiga teng.



8.12-rasm. Anod tokning anod kuchlanishiga bog'liqlik grafigi

Ko'rinib turibdiki, triodlar ham diodlar singari chiziqli bo'lmagan volt – amper xarakteristikaga ega bo'lar ekan.

Triod lampalar radiotexnikada kuchaytirgich sifatida qo'llaniladi (8.13-rasm).



8.13-rasm. Triod lampali kuchaytirgich sxemasi

Tok bo'yicha kuchaytirish. Agar $R_a = 0$ desak $\Delta U_a = S \Delta U_g$ bo'ladi, ya'ni to'r kuchlanishining ΔU_g ga o'zgarishi, anod tokining ΔI_a ga o'zgarishiga olib keladi. Triod lampasining tok bo'yicha kuchaytirishi $I_a = f(U_g)$ funktsiya ko'rinishida chiziqli qonun bo'yicha sodir bo'ladi.

Kuchlanish bo'yicha kuchaytirish. Agar R_a noldan farqli bo'lganda ΔU_a anod kuchlanishining o'zgarishi chiqish signalining kuchayishini bildiradi:

$$\Delta U_a = -R_a \cdot \Delta I_a = -\frac{SR_a}{1 + \frac{R_a}{\rho} \Delta U_g} \quad (8.7)$$

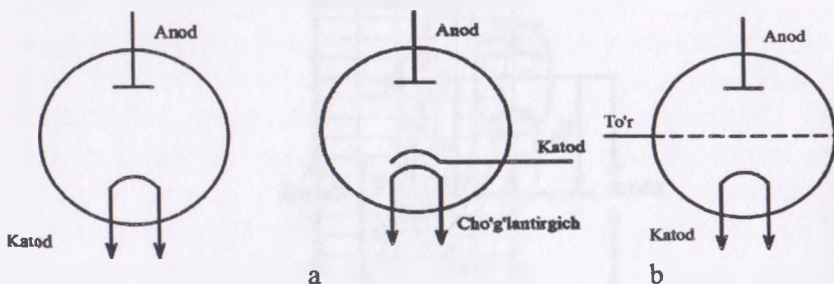
Bundan kuchlanishi bo'yicha kuchayishi:

$$A = \left| \frac{\Delta U_a}{\Delta U_g} \right| = \frac{SR_a}{1 + \frac{R_a}{\rho}} = \frac{\mu R_a}{\rho + R_a} \quad (8.8)$$

Bu erda Barkgauzen munosabatiga ko'ra lampaning kuchaytirish koefitsienti $\mu = S \cdot \rho$. Hamma vaqt to'r singdiruvchanligi $D < 1$ bo'lgani uchun $\Delta U_a > \Delta U_g$ bo'ladi va kuchlanish kuchaygan bo'ladi.

§33. Diod va triod. Yarim o'tkazgichlarda elektr toki.

Ikki elektrodli lampalar diod, uch elektrodli, to'rt va besh elektrodli lampalar mos ravishda, triod, tetrad va pentod deyiladi. 8.14— a, b rasmlarda diodlar, 8.14— c rasmda triodlarning simvolik sxemalari keltirilgan. O'zgaruvchan tok to'g'rilagichi sifatida ishlatilgan diod kenotron deb ataladi.



8.14—rasm. Vakuimli elektron lampalar

Diod ikki xil bo'ladi: bevosita chog'lanuvchi katodli diod (8.14-rasm). Bilvosita cho'g'lanuvchi katodli diod (8.14— rasm). Triodda katod bilan antod oralig'iga uchunchi elektrod—to'r joylashtirilgan. (8.14—b rasm), shu elektrod yordamida anod tokining keskin o'zgarishiga olib keladi. Agar «boshqaruvchi» to'rda kuchlanish nolga teng bo'lsa, triod diodga aylanadi.

Elektron—vakuum lampalar, ayniqsa triod radiotexnikada va aloqa texnikasida elektr tebranishlarini kuchaytirish, so'nmas tebranishlar olish uchun keng qo'llaniladi. Oxirgi vaqtlarda elektron—vakuum lampalar o'rini yarim o'tkazgichli diod, triodlar olmoqdalar. Bu asboblarning mustahkamligi, mittiligi va boshqa noyob xususiyatlari bilan hozirgi zamon radioelektronikasida keng o'rin olgan.

Shuni alohida qayd etish kerakki, 1–2% toriy elementi aralashmasini volfram elektrodga kiritish yoki metall oksidlaridan va bariyli qotishmalaridan katod sifatida foydalanish termoelektr tokining keskin oshirilishiga va ularning ishchi haroratini pasaytirishga olib keldi. Shu sababli elektron—vakuum lampalar va elektron asboblarning yasashda bunday katodlardan keng foydalanilmoqda.

§34. Yarimo'tkazgichlarning xususiy va aralashmali o'tkazuvchanligi.

O'tkazgichlar solishtirma qarshiligi $10^{-7} \Omega \cdot m$, dielektriklarda $10^8 \Omega \cdot m$ va undan ortiq. Ana shu ikki oraliqda mavjud bo'lgan moddalarga yarim o'tkazgichlar deyiladi. Hozirgi vaqtda yarim o'tkazgichlar juda ko'p sohalarida ishlatiladi. Ularning juda ko'p afzalliklari mavjud. Jumladan, harorat oshsa qarshiligi kamayadi, ularda elektr tokini elektronlardan tashqari tirgishlar ham tashiydi, ozgina aralashma uning o'tkazuvchanligini juda oshirib yuboradi.

T.Erkin elektronlar harakati tufayli yuzaga keladigan o'tkazuvchanlikka elektron o'tkazuvchanlik deyiladi. Yarim o'tkazgichlar past va normal haroratlarda dielektriklar hisoblanadi. Asosiy material bo'lib Mendeleyev davriy sistemasidagi 3,4,5 guruh elementlari hisoblanadi. Eng ko'p ishlatiladigan germaniy va kremniydir. Sof yarim o'tkazgichda xususiy o'tkazuvchanlik bo'ladi. 4 valentli germaniyga, 5 valentli arsenid qo'shilsa 1 ta elektron ortib

qoladi. Bunday aralashmaga **donor (beruvchi)** aralashmalar deyiladi, yarim o'tkazgichlar esa elektron yoki n- tip o'tkazuvchanlik deyiladi. 3 valentli indiy qo'shilsa bitta elektron yetishmaydi. Shuning uchun bunday aralashmalar **akseptor** (qabul qiluvchi) deb, yarim o'tkazgichlar esa teshikli yarim o'tkazgich yoki p – tip yarim o'tkazgich deyiladi.

0,0001% mishyak aralashmasi germaniyda erkin elektronlar sonini 1000 marta oshiradi. Temperatura bir gradusga o'zgarganda metallning qarshiligi 0°C dagi qarshilikdan 0,004 ga ortadi, yarim o'tkazgich qarshiligi esa 0,06 ga kamayadi. Bunday xossadan o'lchamlari kichik bo'lgan va metall elektr qarshilik termometrlariga qaraganda juda katta sezgirlikka ega bo'lgan yarim o'tkazgich qarshilik termometrlari yasashga imkon beradi. Yarim o'tkazgich qarshilik termometrga **termistor** deyiladi. Termistor degani yarim o'tkazgich qarshilik, ya'ni issiqlik va aktiv qarshilik demakdir. Termistorning issiqlikka teguvchi qismining o'lchamlari millimetrlarining o'ndan bir ulushlaricha bo'ladi. Bu termistor yordamida juda kichik ob'yektlar, masalan o'simlik va jonli organizmlarning ayrim qismlarining temperaturasini o'lchash mumkin. Termistor bilan gradusning milliondan bir ulushlaricha o'zgarishlarini aniqlash mumkin.

Tabiatda mavjud bo'lgan ko'pgina moddalarning solishtirma qarshiligi $10^{-7}\Omega \cdot m \div 10^8\Omega \cdot m$ oralig'ida joylashgan bo'ladi. Ular yarimo'tkazgichlar deb yuritiladi va elektrik xossalari bilan metallardan farq qiladi. Masalan: harorat ortishi bilan yarim o'tkazgichning qarshiligi kamayadi. Metallardan farqli ravishda yarimo'tkazgichlarda elektr toki faqat erkin elektronlarga emas, balki atom bilan bog'lanishda bo'lgan elektronlarning harakati bilan ham yuzaga keladi va uning o'tkazuvchanligida asosiy rolni o'ynaydi. Yarimo'tkazgichlarda kam miqdorda qo'shilgan aralashma solishtirma qarshiligini keskin o'zgartirib yuboradi. Elektronlar asosan atomlar bilan bog'langan holatda bo'ladi va past haroratda erkin elektron miqdori kam bo'ladi.

Yarimo'tkazgich elektr maydoni ta'sirida bo'lganda erkin elektronlar maydonga qarshi yo'nalishda harakat qilib, zaif tok hosil qilishi mumkin. Atom bilan bog'langan elektronlarni bog'lanishdan ozod qilish uchun yetarli ishga teng bo'lgan tashqi energiya, ya'ni issiqlik energiya berish kerak. Bu holda yarimo'tkazgichlarning

qarshiligni kamayishi yoki o'tkazuvchanligini oshishiga sabab bo'luvchi erkin elektronlarning miqdori ortadi. Yarimo'tkazgichlar qarshilik termometri "termistor" shu hodisaga asoslangan holda ishlaydi. Bu termistor yordamida jismning nuqtaviy qismlarining haroratini o'lchash mumkin. Yorug'lik intensivligini o'lchash uchun foydalaniladigan termistorlar fotoqarshiliklar deyiladi. Yarimo'tkazgichlar uchun bog'langan elektronlarning ko'chishi bilan bo'lgan, ya'ni birinchi tur o'tkazuvchanlik xarakterlidir.

Yarimo'tkazgichlarning xususiy elektr o'tkazuvchanligini qaraylik. Tarkibi faqat bir xil atomlardan tuzilgan sof yarim o'tkazgichlarga misol qilib, *B, C, Si, Ge, Sn, P, As, S, Se, In, Tl* va shu kabilarni olish mumkin. Sof yarim o'tkazgichlardan misol tariqasida germaniy (*Ge*) kristallni qarab chiqamiz. Germaniy—to'rt valentli element bo'lganligi uchun, atomining tashqi qobig'ida yadroga zaifroq bog'langan to'rtta elektron bo'ladi. Har bir germaniy atomining eng yaqin qo'shni atomlari ham to'rtta bo'ladi. Har bir juft qo'shni atom bir-biriga kovalent bog'lanish deb ataluvchi juft elektronli bog'lanish tufayli o'zaro ta'sir ko'rsatadi. Shu bilan birga bog'lanishda qatnashayotgan elektronlar o'zaro bog'langan ikkala atomga ham taalluqlidir.

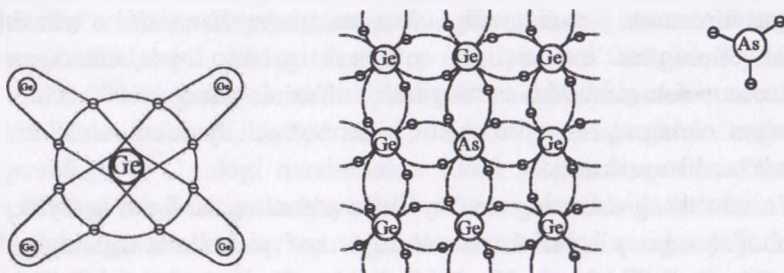
Germaniy atom panjarasi yassi to'rt ko'rinishda tasvirlangan, ya'ni har bir atom o'ziga eng yaqin turgan to'rtta atom bilan juft elektron bog'lanishida birikadi.

Absolyut nol temperatura (-273°C) da yarim o'tkazgichlardagi barcha valent elektronlar bog'langan bo'ladi. Yarim o'tkazgichlar bunday sharoitda erkin elektronga ega bo'lmaganligi uchun ideal izolyator xossasiga ega bo'ladi.

Absolyut noldan farqli bo'lgan haroratdan yarim o'tkazgichgacha elektronlarning issiqlik harakat energiyasi kovalent bog'lanishni buzishga yetarli bo'lib qolganda sof yarim o'tkazgichda erkin elektronlar hosil bo'ladi. Bu elektron o'z o'rnini tashlab kristall bo'ylab harakat qila boshlaydi. Elektrondan bo'shagan vakant joylarga teshiklar deyiladi (8.15-rasm).

Shunday qilib, sof yarim o'tkazgichning biror joyida kovalent bog'lanishning buzilishi natijasida erkin elektron va teshik vujudga keladi. Buni odatda, elektron–teshik vujudga keladi deyiladi. Agar

yarim o'tkazkichda elektr maydon bo'lmaganda musbat zaryadli teshiklar ham erkin ekelektronlarga o'xshab xotik harakatlanadi.



8.15-rasm. Yarimo'tkazgich tuzilishi

Elektr maydon ta'sirida butun kristall bo'ylab ekelektronlar maydon kuchlanganligiga teskari, teshiklar esa maydon kuchlanganligi yo'nalishida harakatga keladi. Shunday qilib, maydon ta'sirida elektronlar va teshiklarning harakati qarama-qarshi yo'nalgan bo'ladi. Binobarin, yarim o'tkazkichdan umumiy tokning kuchi I elektron va teshik toki kuchlari I_n va I_p ning yig'indisiga teng,

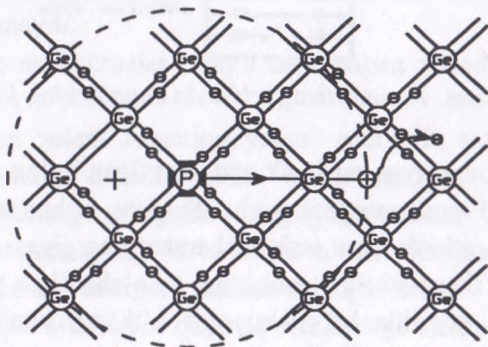
$$I = I_n + I_p. \quad (8.9)$$

Sof yarim o'tkazgichlarning bunday elektron-teshikli o'tkazuvchanligiga xususiy elektron o'tkazuvchanligi deyiladi.

Odatda sof yarim o'tkazgichlarning xususiy elektr o'tkazuvchanligi uncha katta bo'lmaydi. Lekin sof yarim o'tkazgichlarga maxsus tanlangan aralashmalar qo'shish bilan sun'iy ravishda elektr o'tkazuvchanligi yuqori bo'lgan aralashmali yarim o'tkazgichlar tayyorlash mumkin. Bunday aralashmali yarim o'tkazgichlar ko'proq elektronli yoki teshikli elektr o'tkazuvchanlikka ega bo'ladi.

To'rt valentli sof yarim o'tkazgichlardan germaniy (Ge) yoki kremniy (Si) atomlaridan tuzilgan kristall panjaraning ba'zi tugunlariga besh yoki uch valentli atomlarni joylashtirib elektronli yoki teshikli o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan yarim o'tkazgichlarni hosil qilish mumkin.

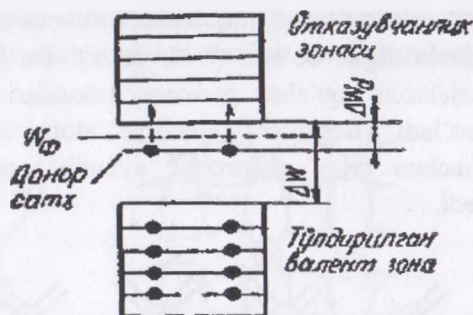
Germaniy (*Ge*) kristallidagi atomlardan biri besh valentli fosfor (*P*) atomi bilan almashtirilgan bo'lsin (8.16—rasm). Bu holda fosforning to'rtta valent elektroni qo'shni germaniy atomlari bilan kovalent bog'lanishda bo'ladi. Beshinchi elektron atom bilan juda zaif bog'langanligi uchun erkin elektronga aylanib, aralashma musbat zaryadlanib qoladi.



8.16—rasm. Aralashmali yarimo'tkazgich hosil qilish

Shunday qilib, to'rt valentli sof yarim o'tkazgich kristalliga besh valentli element atomlari aralashgan bo'lsa, elektronli o'tkazuvchanlikka ega bo'ladi. Ko'pincha bunday o'tkazuvchanlikka elektronli n — tip o'tkazuvchanlik deyiladi (lotincha negativ-manfiy degan so'zning bosh harfi olingan). Bunday yarim o'tkazgichlarga esa n — tipdagi yarim o'tkazgichlar deb ataladi. Aralashma atomi yarim o'tkazgichga elektron berayotganligi uchun, odatda uni donor “beruvchi” degan ma'noni anglatadi) yoki n —tip aralashma deyiladi. n — tipdagi yarim o'tkazgichda elektronlar asosiy zaryad tashuvchilar bo'lib teshiklar asosiy hisoblanmaydi.

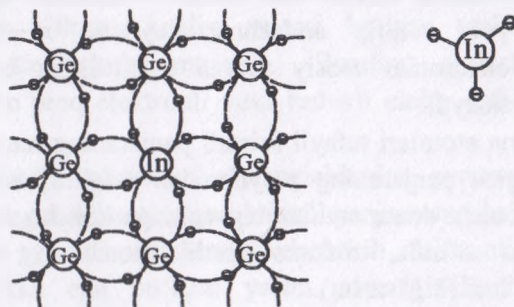
Aralashma atomlari tufayli kristall panjaraning maydoni ideal sof yarim o'tgazgich panjaraning maydonidan farqliriq bo'ladi. Bu esa taqiqlangan zonada donor sathlarning vujudga kelishiga sabab bo'ladi. Donor sathlar odatda, o'tkazuvchanlik zonasining tubiga yaqin joylashgan bo'ladi (8.17-rasm).



8.17-rasm. Yarimo'tkazgichlarda zonalarining joylashuvi

Masalan kremniyga mishyak aralashtirilgan bo'lsa, $\Delta W_d \sim 0,05 \text{ eV}$ bo'ladi. W_F — Fermi energetik sathi. Shuning uchun unchalik yuqori bo'lmagan haroratlarda ham issiqlik harakat energiyasi donor sathdagi elektronlarni o'tkazuvchalik zonasiga ko'chirishga yetarli bo'ladi. Elektr maydon ta'sirida bu elektronlar o'tkazuvchalik zonasining yuqoriroq sathlariga ko'tariladi.

Agar aralashma sifatida uch valentli indiy (*In*) olinsa, u holda qo'shni atomlarning uchta valent bog'lanishini to'ldira oladi (8.18—rasm). Kristall panjara tugunida joylashgan uch valentli atomning yetishmovchi valent bog'lanishi teshikdan iborat. Bunday yarim o'tkazgichda elektr maydon hosil qilinsa, teshik elektr maydon kuchlanganlik vektori yo'nalishida teshikli elektr o'tkazuvchanlik mavjud bo'ladi.



8.18-rasm. P-tip yarimo'tkazuvchanlik hosil qilish

Bunday o'tkazuvchanlikka p – tip o'tkazuvchanlik (lotincha positive— musbat degan so'zning bosh harfi olingan) deyiladi, o'tkazgichlarga esa p – tipdagi yarim o'tkazgichlar deyiladi. p – tipdagi yarim o'tkazgichdagi aralashma indiy (In) atomi asosiy atomning elektronini qabul qilib olganligi uchun unga akseptor (“qabul qiluvchi”) yoki p – tipdagi aralashma deyiladi. p – tipdagi yarim o'tkazgichda asosiy zaryad tashuvchilar teshiklar bo'lib, elektronlar asosiy hisoblanmaydi.

p – tip aralashmalar tufayli taqiqlangan zonada akseptor sath vujudga keladi.

To'ldirilgan valent zonaning yuqori energetik sathidan akseptor sathga elektronning o'tishi uchun lozim bo'lgan energiya ΔW_a taqiqlangan zonaning energetik kengligidan ancha kichik (odatda $\Delta W_a \sim 0,1 eV$ lar chamasida) bo'ladi. Bu o'tish natijasida to'ldirilgan valent zonada “bo'sh” energetik sathlar vujudga keladi.

Elektr maydon ta'sirida quyiroq sathlardagi elektronlar yuqoriroq sathlarga ko'tariladi. Natijada teshiklar elektronlarning ko'chishiga teskari yo'nalishda ko'chadi.

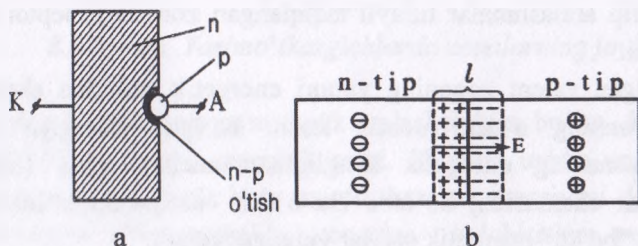
Demak, yarimo'tkazgich aralashmali o'tkazuvchanligining mexanizmi aralashma va asosiy atomlarning valentligiga bog'liq. Umuman past haroratlarda yarimo'tkazgichning elektr o'tkazuvchanligi asosan aralashmali o'tkazuvchanlikdan iborat bo'ladi. Yuqoriroq haroratlarda issiqlik harakat energiyasi valent zonadagi elektronlarning o'tkazuvchanlik zonasiga ko'chirishga yetarli bo'lib qoladi. Natijada xususiy o'tkazuvchanlikka sabab bo'luvchi elektron—teshik juftlar vujudga keladi. Shuning uchun bunday haroratlarda aralashmali va xususiy o'tkazuvchanliklarni hisobga olish kerak. Juda yuqori haroratlarda esa xususiy o'tkazuvchanlik aralashmali o'tkazuvchanlikdan ancha katta bo'lganligi uchun aralashmali o'tkazuvchanlikni hisobga olmasa ham bo'ladi.

Juda yuqori temperaturalarda yarim o'tkazgichlarning xususiy o'tkazuvchanligi aralashmali o'tkazuvchanligidan juda katta bo'lganligi uchun aralashmali o'tkazuvchanlikni hisobga olmasa ham bo'ladi.

Turli tipdagi ikkita yarim o'tkazgichning bir—biriga tegish joyi (kontakti) ga $n - p -$ o'tish deyiladi.

Elektron – teshikli o‘tish (qisqacha $n - p$ o‘tish) ko‘pgina yarim o‘tkazgich asboblarda (diodlar, tranzistorlar, tiristorlar, foto o‘zgartkichlar) ning asosiy elementlaridir.

Diod. Tranzistorlar. Yarim o‘tkazgichli diod—bu elektron–teshikli ($n - p$) o‘tishga ega bo‘lgan yarim o‘tkazgich kristall bo‘lib, uning qarama–qarshi sohalariga zanjirga ulash uchun kontaktlar ulangan.



8.19- rasm. Yarim o‘tkazgichli diod

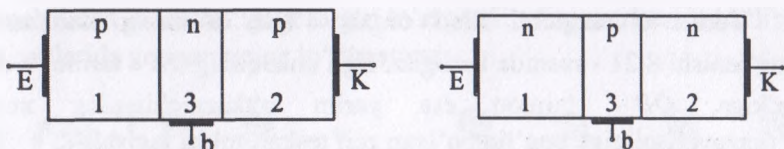
Kristallni mexanik shikastlanishdan saqlash uchun uni g‘ilofga joylanadi.

Diodning $p - n -$ o‘tish joyining qalinligi atomlar orasidagi masofadan ortiq bo‘lmasligi kerak. Shuning uchun germaniy (Ge) sirtiga yopishtirilgan indiy (In) atom germaniy monokristaliga diffuziyalanib germaniy sirti yaqinida p –tipidagi o‘tkazuvchanlik sohasi hosil bo‘ladi (8.19–a,b rasm). Bunday yarim o‘tkazgichli diodda germaniy (Ge) katod (K) indiy (In) esa anod (A) bo‘ladi.

Yarim o‘tkazgichli diodlar $-70^{\circ}C$ dan $+125^{\circ}C$ haroratlar oralig‘ida to‘g‘rilagich sifatida juda ishonchli va uzoq muddat davomida ishlay oladi.

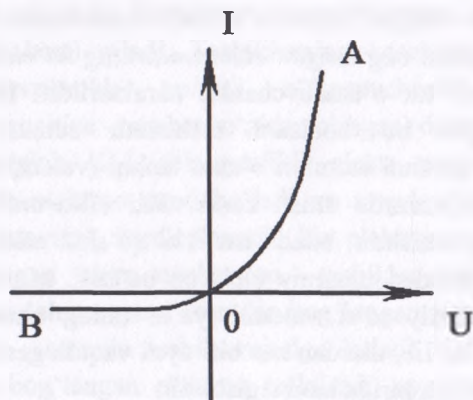
Hozirgi vaqtda yarim o‘tkazgichli triodlar yoki tranzistorlar (ingilizcha transfer–ko‘chirish va resistr – qarshilik so‘zlaridan kelib chiqqan deb atalovchi qurilmalar) qo‘llaniladi.

Tranzistor kristalldan iborat bo‘lgan yarim o‘tkazgichli asbob bo‘lib, u ikkita elektron teshikli o‘tishga ega. Ular zanjirga ulanganda biri ikkinchisiga ta’sir etadi.



8.20-rasm. Yarimo'tkazgichli triod (transistor)

Tranzistorning o'rta sohasi (3) ni baza (b), bazani xarakatlanuvchi zaryad tashuvchilar bilan ta'minlovchi chap qismi (2) ni esa emitter (E), zaryadlar yig'uvchi o'ng qismi (1) ni esa kollektor (K) deb ataladi (8.20—rasm). To'g'ri yo'nalishda ulangan o'tishga emitter o'tish, teskari yo'nalishda ulangan kollektor o'tish deyiladi. Bazaning o'tkazuvchanligi elektron va teshik o'tkazuvchanlik bo'lishi mumkin. Bazaning o'tkazuvchanligiga qarab tranzistorlar ikki tipda, yani $p - n - p$ (8.20- a rasm) va $n - p - n$ tip (8.20- b rasm) bo'ladi. Tranzistorlarning ishlash prinsipi bir xil. Tranzistorlarning ishlash muddati juda katta, tejamli va juda ixchamligi bilan ajralib turadi. Ular radioelektronikadagi kuchaytirgichlar, radiopriyomniklar va televizorlar, elektron hisoblash mashinalari (EHM) va boshqalar keng qo'llaniladi. Tranzistorlar samolyot va raketalarning bort apparaturalari uchun ayniqsa juda muhim ahamiyatga ega.



8.21-rasm. Diodda tokning kuchlanishga bog'liqlik grafigi

Yarim o'tkazgichli diod orqali o'tgan to'kning kuchlanishga bog'lanishi 8.21 - rasmda berilgan. Egri chiziqning *OA* – tarmog'i o'tish to'kiga, *OB* – tarmoq esa yarim o'tkazgichlarning xususiy o'tgazuvchanligiga bog'liq bo'lgan zaif teskari tokka tegishli.

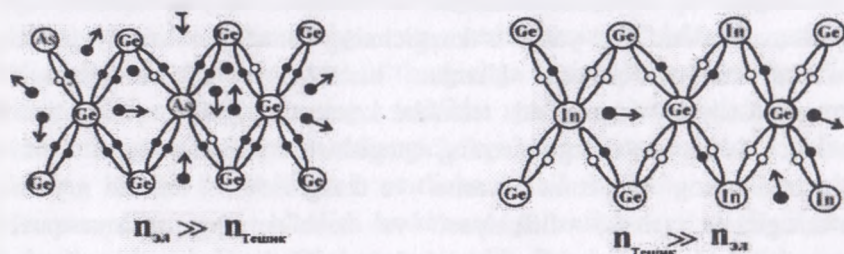
§35. Berkituvchi qatlam. Yarim o'tkazgichlar uchun zonalar nazariyasi. Fermi sathi.

Yarim o'tkazgich solishtirma qarshiligining yuqori bo'lishi va uning qarshiligining temperaturaga keskin bog'lanishi o'lchamlari juda kichik bo'lgan va metall elektr qarshilik termometrlariga qaraganda juda katta sezgirlikka ega bo'lgan yarim o'tkazgich qarshilik termometrlari yasashga imkon beradi. Yarim o'tkazgich qarshilik termometri *termistor* deb ataladi. Termistorning issiqlikka teguvchi qismining o'lchamlari millimetrlarning o'ndan bir ulushlaricha bo'ladi. Bu termistor yordamida juda kichik ob'ektlar, masalan, o'simlik va jonli organizmlarning ayrim kichik (amalda nuqtaviy) qismlarining temperaturasini o'lchashga imkon beradi. Termistor bilan temperaturaning gradusning milliondan bir ulushlaricha o'zgarishlarini aniqlash mumkin. Termistorning sezgirligi shunday yuqori bo'lgani uchun u yorug'likning o'zgarishini sezishi mumkin. Yoritish intensivligini o'lchash uchun mo'ljallangan maxsus termistorlar *fotoqarshiliklar* deyiladi.

Biz ko'rib o'tgan elektron o'tkazuvchanlikdan tashqari, yarim o'tkazgichlar uchun *bog'langan elektronlarning ko'chishi* bilan bog'liq bo'lgan yana bir tur o'tkazuvchanlik xarakterlidir. Birinchi qarashda g'alati tuyo'lgan bu hodisani tushunish uchun kristall yarim o'tkazgichning qo'shni atomlari o'zaro tashqi (valent) elektronlar bilan bog'langanligini nazarda tutish kerak. *Ikki elektronli* bog'lanish eng mustahkam bog'lanishdir, bunda har ikki qo'shni atom tashqi elektron qatlamlarida ikkitadan umumiy elektron bo'ladi. Masalan, *germaniyni* ko'raylik. Germaniy to'rt valentli, ya'ni uning atomi to'rtta tashqi elektronga ega bo'lib, ulardan har biri ayni vaqtda germaniyning to'rtta qo'shni atomlaridan biriga ham tegishlidir.

Germaniy kristall panjarasi *markazlashgan qirrali kub* shaklidadir (kremniy va olmosning panjaralari ham shu xilda bo'ladi). Bunday panjarada germaniy atomining har biri *tetraedr* (tomonlari

uchburchakdan iborat bo'lgani to'g'ri to'rt yoqli) ning markazida bo'lib, uning uchlarida germaniyni to'rtta atomi



8.22 rasm. Germaniy atomlari orasidagi elektron bog'lanishlar joylashgan .

Germaniy atomlari orasidagi elektron bog'lanishlarning tekislikdagi sxemasi ko'rsatilgan.

Shunday qilib, uzilgan bog'lanishlar (teshiklar) bo'lganda yarim o'tkazgichda bog'langan elektronlarning bir *qo'shni* bog'lanishdan ikkinchisiga va ayni vaqtda teshiklarning qarama-qarshi yo'nalishda o'tishlari (sakrashlari) boshlanadi. Tashqi elektr maydoni bo'lmaganda bu o'tishlar xotik holda bo'ladi. Maydon bo'lganida xotiu harakat tartiblashadi: bog'langan elektronlar maydonga qarshi, teshiklar esa maydon bo'ylab chiqadi. Teshiklarning tartiblashgan harakati yarim o'tkazgichda tok hosil qiladi. Teshiklarning ko'chishi bilan bog'liq bo'lgan o'tkazuvchanlik *teshikli* o'tkazuvchanlik yoki *p-tip o'tkazuvchanlik* (positive –musbat so'zidan olingan) deyiladi.

Yarimo'tkazgich E kuchlanganlikli elektr maydonida turibdi. Atomdan chiqqan elektron ozod bo'ladi va maydonga qarama-qarshi yo'nalishda "to'xtovsiz" harakatlanadi. Bu elektron o'tkazuvchanlik. Elektronni yo'qotgan atom musbat ion – teshikka aylanadi. Bu ionga o'ng tomondagi qo'shni neytral atomdan bog'langan elektron qo'shiladi, buning natijasida atomda teshik vujudga keladi. So'ngra teshikni atomdan o'tgan bog'langan elektron to'ldiradi, ayni vaqtda u tomda teshik hosil qiladi. So'ngra atomda teshik hosil bo'ladi va hokazo. Teshiklarning maydon yo'nalishida (yoki xuddi shunday *bog'langan*

elektronlarning maydonga qarama-qarshi yo'nalishda) estafeta harakati teshikli o'tkazuvchanlikka mos keladi.

Turli tip o'tkazuvchanlikli – elektron (n) va teshikli (p) o'tkazuvchanlikni ikki yarim o'tkazgichning kontakt zonasi joyida juda muhim hodisa bo'ladi. Ulardan birinchisida erkin elektronlar konsentratsiyasi, ikkinchisida teshiklar konsentratsiyasi yuqori bo'lgani uchun yarim o'tkazgichlarning tegishish sirtlari orqali erkin elektronlarning elektron yarim o'tkazgichdan teshikli yarim o'tkazgichga ($n \rightarrow p$) diffuziyasi va teshiklarning qarama-qarshi yo'nalishdagi diffuziyasi ($p \rightarrow n$) ro'y beradi. Natijada chegara qatlam p -yarimo'tkazgich tomonidan manfiy zaryadlanadi, n -yarim o'tkazgich tomonidan esa musbat zaryadlanadi, ya'ni kontakt zonasida “*qo'sh elektr qatlam*” hosil bo'ladi. Bu qatlamda hosil bo'ladigan E' kuchlanganlikli elektr maydoni, ravshanki, elektronlarning $n \rightarrow p$ yo'nalishda, teshiklarning esa $p \rightarrow n$ yo'nalishda endigi o'tishiga to'sqinlik qiladi. Natijada E' ning ma'lum bir qiymatida muvozanat yuzaga keladi: elektronlar va teshiklarning ko'rsatilgan yo'nalishlarda ortiqcha o'tishi to'xtaydi.

Qatlamning qalinligi $l = 10^{-5} \text{ cm}$ tartibida bo'ladi, qatlamda kontakt potentsiallar ayirmasi 10^{-1} V ga yaqin bo'ladi (odatda texnikada qo'llaniladigan yarim o'tkazgichlar uchun). Bunday potentsiallar ayirmasini (*potensial to'sqini*) faqat kinetik energiyalari bir necha ming gradus temperaturaga mos keladigan darajada katta bo'lgan elektronlar va teshiklarga yengib o'ta olishlari mumkin. Normal temperaturada l qatlamdan o'tib bo'lmaydi, ya'ni elektronlarning $n \rightarrow p$ va teshiklarning $p \rightarrow n$ yo'nalishda o'tishiga juda katta qarshilik ko'rsatadi. Shuning uchun l chegara qatlam *berkituvchi qatlam* deyiladi.

Berkituvchi qatlam qarshiligini tashqi elektr maydoni ta'sirida o'zgartirish mumkin. Haqiqatan ham, elektron o'tkazuvchan yarim o'tkazgichga tok manbaining musbat, teshikli yarim o'tkazgichga manfiy qutblarini ulaylik. U holda tashqi maydonning E kuchlanganligi E' kuchlanganlik yo'nalishi bilan mos tushib, erkin elektronlar va teshiklarni yarim o'tkazgichlarning kontakt joylaridan yana nariga surib yuboradi. Berkituvchi qatlai kengayadi, uning qarshiligi ortadi. *Kontakt orqali tok o'tmaydi*. Aniqrog'i, kontakt orqali yarim o'tkazgichlarning

xususiy o'tkazuvchanligidan yuzaga keluvchi zaif tok o'tadi, chunki tashqi maydon berkituvchi qatlam orqali *asosiy bo'lmagan* tok tashuvchilarning: erkin elektronlarning teshikli yarim o'tkazgichdan elektron yarim o'tkazgichga va teshiklarning elektron yarim o'tkazgichidan teshikli yarim o'tkazgichga o'tishiga yordam beradi. Biroq erkin elektronlarning teshikli yarim o'tkazgichdagi va teshiklarning elektron yarim o'tkazgichdagi konsentratsiyasi juda kichik. Shuning uchun bu holda tok etarlicha kichik bo'ladi. Amalda tok o'tkazmaydigan $n \rightarrow p$ yo'nalish *berkituvchi yo'nalish* deyiladi. Berilgan tashqi kuchlanishning qutbini o'zgartiraylik. Bunda tashqi maydonning E kuchlanganligi E' kuchlanganlikka qarama-qarshi yo'налgan bo'lib, erkin elektronlar va teshiklarni bir-biriga qarshi (uchrashuvchi) yo'nalishda ko'chiradi. Berkituvchi qatlam torayadi, uning qarshiligi kamayadi. Tashqi kuchlanishning biror aniq qiymatida berkituvchi qatlamning qarshiligi yarim o'tkazgichlarning o'zlarining qarshiliklariga teng bo'lib qoladi (berkituvchi qatlam yo'qoladi). Yarim o'tkazgichdan kuchli tok o'tadi. Tok o'tkazuvchi $p \rightarrow n$ yo'nalish *o'tkazuvchi yo'nalish* deyiladi.

Yarim o'tkazgich diodlar va triodlarning o'lchamlari juda kichik (1 cm va undan kichik) bo'lishi mumkin, ularni qizitish (cho'g'lantirish) kerak emas, tuzilishi sodda, mexanik jihatdan mustahkam, ishlash muddatlari uzoq. Shuning uchun ular elektron lampalar bilan muvaffaqiyatli bellasha oladi.

Berkituvchi qatlamning ishlashiga asoslangan yani bir muhim yarim o'tkazgichli asbob – yarim o'tkazgichli fotoelementdir. Bu asbob bilan biz *ichki fotoeffekt*ni o'rganishda tanishamiz.

Agar elektron yarim o'tkazgichdan qilingan sterjenning bir uchini qizitib, ikkinchi uchini sovitsak, issiq uchida erkin elektronlarning konsentratsiyasi ortadi. Buning ustiga bu elektronlarning kinetik energiyasi ham yuqori bo'ladi. Shuning uchun temperatura pasayish yo'nalishida elektronlarning *ortiqcha* ko'chishi boshlanadi, bunday ko'chish davomida sterjenning *issiq* uchi *musbat* zaryadlanadi, *sovuq* uchi esa *manfiy* zaryadlanadi (kezi kelganda shuni aytish kerakki, teshikli yarim o'tkazgichdan qilingan sterjen – teshiklarning sovuq uchiga ortiqcha o'tishi tufayli – teskari qutblanadi: uning issiq uchi manfiy zaryadlanadi, sovuq uchi esa musbat zaryadlanadi). Bunda yarim

o'tkazgich ichida vujudga kelgan elektr maydoni elektronlarning sterjenning sovuq uchiga ortiqcha ko'chib o'tishiga to'sqinlik qila boshlaydi. Natijada berilgan yarim o'tkazgich uchun sterjen uchlari orasidagi potentsiallar ayirmasi (termoelektr yurituvchi kuch) ma'lum kattalikka yetganida muvozanat holat yuzaga keladi. Shunisi muhimki, metall sterjenda bunday effekt bo'lmaydi, chunki metallarda erkin elektronlar konsentratsiyasi amalda temperaturaga bog'liq emas. Shuning uchun metall va elektron yarim o'tkazgichdan tuzilgan berk termoparada issiq (musbat zaryadlangan) uchidan sovuq uchigsha yo'nalgan tok vujudga keladi. Shuningdek, ikkita yarim o'tkazgich – elektron va teshikli yarim o'tkazgich sterjendan tuzilgan termopara ham tuzish mumkin. Bu sterjenlarning har birida hosil bo'ladigan termoelektr yurituvchi kuchlar qo'shiladi, chunki ta'kidlab o'tilganidek, elektron va teshikli yarim o'tkazgichlarning qizitiladigan uchlari turli ismli zaryadlanadi.

Yarim o'tkazgichli termoparalarning termoelektr yurituvchi kuchi 100 gradus temperatura farqi uchun 0,1V ga yaqin (metall termoparalarnikiga qaraganda taxminan 100 marta katta) bo'ladi, ularning foydali ish koeffitsienti 8% gacha boradi (metall termoparalardagidan taxminan 80 martacha katta). Bu yarim o'tkazgichli termoparalar faqat temperaturalarni o'lchash uchungina emas, shuningdek, *issiqlikni bevosita elektr energiyasiga aylantiradigan tok generatorlari* sifatida ishlatishga ham imkon beradi.

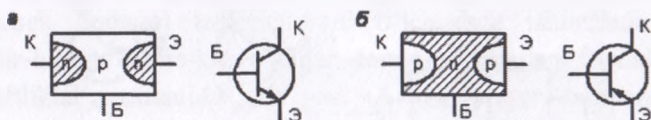
Yarim o'tkazgichlardan amaliy foydalanishga doir bu misollar bilan cheklanib, shu narsani qayd qilamizki, yarim o'tkazgichlar juda ko'p fan va texnikaning ko'gpina muammolarini oson va tejamli hal qilishga imkon beradi. Yarim o'tkazgichli asboblarning xalq xo'jaligida tobora keng qo'llanib borilayotganiga sabab shu.

§36. Yarim o'tkazgichli to'g'rilagichlar, kuchaytirgichlar va termoelektr batareyalari. Yarimo'tkazgichli asboblarning qishloq xo'jaligi ishlab chiqarishidagi ahamiyati

Yarim o'tkazgichli to'g'rilagichlar. To'g'rilagich diodlar past chastotali kHz o'zgaruvchan toklarni to'g'rilashda ishlatiladi. Tayyorlanish texnologiyasiga ko'ra diodlar yassi va nuqtaviy bo'lishi mumkin. Yassi diodlarda n-p o'tishning yuzini belgilovchi o'lchamlar,

uning qalinligiga nisbatan katta bo'ladi. Nuqtaviy diodlarda esa aksincha bo'ladi. To'g'rilagich diodlar sifatida asosan yassi diodlar ishlatiladi. To'g'ri yo'nalishda o'tuvchi to'g'rilangan tok kuchi 1600 ampergacha, teskari yo'nalishda 1000 V gacha kuchlanishga mo'ljallangan diodlar ishlab chiqariladi. Shu sababli diodlarga issiqlikni sochuvchi radiatorlar kiydirilib montaj qilinadi.

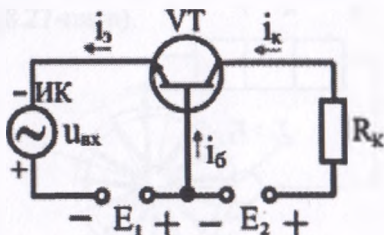
Yarim o'tkazgichli kuchaytirgichlar. Ikkita p-n-o'tishli yarim o'tkazgichli asboblardan tranzistor deb ataladi. Tranzistorlar ikki tipli bo'ladi: p-n-p va n-p-n tranzistorlar. Ularning tuzilishi va sxemadagi belgilari 6-rasmda ko'rsatilgan.



8.23-rasm. Tranzistorlar tuzilishi va belgilanishi: a) n-p-n tipli;
b) p-n-p tipli tranzistorlar

Emitter strelkasi tranzistor orqali tok yo'nalishini ko'rsatadi. Tranzistor o'rtasidagi plastina baza deb ataladi. Uning qalinligi juda ingichga bo'lib mikrometrlarga teng. Chekkalaridagi qismlar emitter va kollektor deb ataladi.

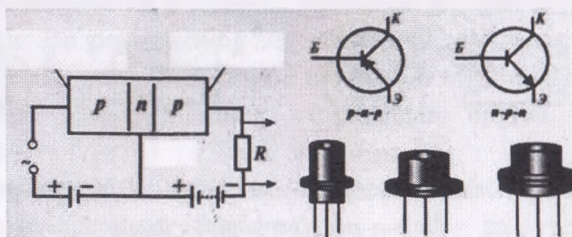
Tranzistorlarni ulashning bir necha usuli bor. Biz umumiy bazali ulash sxemasini ko'rib o'tamiz. Kuchaytiriladigan tebranishlar manbasi (antenna, mikrofon) emitter va baza orasiga ulanadi, kuchaytilgan tebranishlar esa kollektor zanjirida hosil bo'ladi (8.24-rasm).



8.24-rasm. n-p-n tranzistorning umumiy baza sxemasi bo'yicha ulanishi

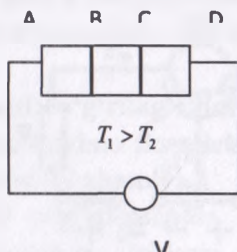
Emitter ichida tok asosan elektronlar harakatidan iborat, ular baza ichiga kirib ketishadi va unung qalinligi ingichka bo'lgani uchun undan o'tib kollektorga kirishadi. Bu yerda manfiy elektronlar kollektorning musbat qutbiga qarab harakatlanishadi va kollektor tokini oshirishadi. Bunda R_e rezistordagi kuchlanish o'zgarishi emitter zanjiridagi kuchlanishdan ancha katta bo'ladi (chunki $e_2 > E_1$), ya'ni kuchaytirishga erishiladi.

Hozirgi paytda mikroelektronika rivojlanishi tufayli integral mikrosxemalar tayyorlanadi. **Integral mikrosxemalar** deb bitta kristallda yagona texnologiya jarayonida bir-biriga ulangan juda kichik diodlar, tranzistorlar, kondensatorlar, rezistorlarga aytiladi (1 cm² da 10⁶ gacha).



8.25. Tranzistorlarning ko'rinishi va ulanishi

Termoelektr batareyalar. Ikki har xil metall yoki yarim o'tkazgichlar tegish joylarida temperatura bir xil bo'lmasa, zanjirda **termoelektr toki** deb ataladigan tok paydo bo'ladi. Bu hodisani 1821 yilda Zeebek aniqlagan. Bunda hosil bo'ladigan EYuKga **termoEYUK** deyiladi. Uning hosil bo'lish sabablaridan biri $T_2 > T_1$ bo'lganda B kontaktda erkin elektronlar tezligi katta bo'lgani uchun B dan C ga qarab elektronlar diffuziyasi kuchayadi (8.26-rasm).



8.26-rasm. TermoEYUK hosil bo'lish chizmasi

Shuning uchun 2 o'tkazgichda elektronlar soni oshadi. Natijada 1 va 2 o'tkazgichlar orasida termoEYuK hosil bo'ladi. Uning kattaligi kontaktlardagi temperaturalar farqiga to'g'ri proporsional:

$$\varepsilon = \alpha(T_1 - T_2) = \frac{k\Delta T}{e} \ln \frac{n_1}{n_2}$$

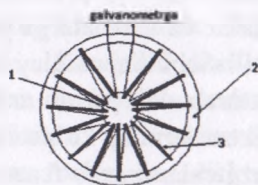
Bunda k-Bolsman doimiysi, n_1 va n_2 -erkin elektronlar konsentratsiyasi, α -metallar tabiatiga bog'liq bo'lgan proporsionallik koeffitsienti (termojuftlik doimiysi).

Metallar uchun termoEYUK kattaligi mV bilan o'lchanadi. Masalan, mis-konstantan uchun temperaturalar farqi 100K bo'lganda termoEYuK 4,25 mV ga teng.

Zeebek hodisasi temperaturani o'lchashda ishlatiladi. Buning uchun bir-biriga ketma-ket ulangan termojuftliklardan foydalanishadi. Termojuftliklar yordamida juda past va juda yuqori temperaturalarni katta sezgirlik bilan o'lchash mumkin (o'lchash aniqligi 0,01K).

Zeebek hodisasi yordamida elektr tokini hosil qilish mumkin. Biroq bunda metallar emas yarim o'tkazgichlardan foydalaniladi. Hozir yarim o'tkazgichli termobatareyalar FIK 20% ga etadi. Ularni rivojlantirish yordamida bevosita Quyosh energiyasini elektr energiyasiga aylantirish mumkin. Termobatareyalardan qishloq xo'jaligida foydalanish katta samara beradi.

Termobatareyalardan Quyosh energetik yoritilganligini o'lchashda ham foydalanishadi. Termoelektr aktinometr M-3 da Quyosh yorug'ligi kumush bilan qoplangan 1 diskka tushadi. Uning ikkinchi tomoniga izolyatsilovchi qog'oz orqali manganin va konstantan termojuftliklarining ichki tomonlari 2 elimlanadi. Termojuftlikning tashqi kontaktlari 3 izolyatsiyalovchi qog'oz orqali 4 mis diskka yopishtirilgan (8.27-rasm).



8.27-rasm. Aktinometr termobatareyasi

O'tkazgichlarning solishtirma qarshiligi $10^{-7} \Omega \cdot m$ tartibida (va undan kam), dielektriklarniki esa $10^8 \Omega \cdot m$ tartibida (va undan ortiq). Ko'pchilik moddalarning solishtirma qarshiligi bu chegaralar orasida bo'ladi. Bu moddalar *yarimo'tkazgichlar* deyiladi. Fan va amaliyot uchun qattiq yarim o'tkazgichlar g'oyat ahamiyatlidir. Bunday yarim o'tkazgichlarning tipik vakillari kremniy, germaniy, selen, tellur va ba'zi boshqalardir.

Metallardagi singari qattiq yarim o'tkazgichlarning o'tkazuvchanligi elektronlarning harakati bilan bog'liqdir. Biroq elektronlarning harakatlanish sharoitlari metallarda va yarim o'tkazgichlarda turlicha bo'ladi, buni xususan yuqorida biz aytib o'tgan metallar va yarim o'tkazgichlarda solishtirma qarshilik qiymatining keskin farq qilishi ham ko'rsatib turibdi. Metallardan farq qilib yarim o'tkazgichlarning quyidagi asosiy xususiyatlari bor.

Birinchidan, *yarim o'tkazgichlarning qarshiligi temperatura ortishi bilan kamayadi*. Chunki temperaturaning o'zgarishi qarshilikning o'zgarishiga metallardagiga qaraganda, yarim o'tkazgichlarda ko'proq ta'sir qiladi. Temperatura bir gradusda o'zgarganida metallning qarshiligi $0^{\circ}C$ dagi qarshiligidan o'rtacha 0,004 ga *ortadi*, yarim o'tkazgichning qarshiligi esa o'rtacha 0,06 ga *kamayadi*.

Ikkinchidan, *yarimo'tkazgichlarda elektr toki faqat erkin elektronlarning emas, shu bilan birga bog'langan (atom bilan) elektronlarning harakati bilan ham yuzaga keladi*. Ba'zi sharoitlarda yarim o'tkazgichlarning o'tkazuvchanligida bog'langan elektronlar hal qiluvchi rol o'ynaydi.

Uchinchidan, *ozgina aralashma miqdori yarim o'tkazgichning qarshiligini juda kuchli o'zgartirib yuborishi mumkin*. Protsentning yuzdan bir ulushicha aralashma yarim o'tkazgich qarshiligini o'n minglab marta o'zgartirishi mumkin.

Ba'zi soddalashgan tasavvurlar va sxemalarga yo'l qo'yib, yarim o'tkazgichlarning bu xususiyatlari sabablarini aniqlaymiz.

Past va normal temperaturalarda yarim o'tkazgichda erkin elektronlar soni oz bo'ladi: elektronlarning ko'pchilik qismi atomlar bilan bog'langan. Yarim o'tkazgichlarning o'tkazuvchanligi yomon (solishtirma qarshiligining katta) bo'lishiga sabab shu. Yarim o'tkazgichlardagi erkin elektronlarning ozchilik qismi metallardagi erkin

elektronlarga o'xshash tabiatga ega bo'ladi. Elektr maydoni bo'lmaganda ular xotik harakatlanadi, maydon bo'lganida yana (maydonga qarshi) yo'nalishli harakatga kelishi va buning natijasida yarim o'tkazgichda zaif tok hosil qilishi mumkin. Erkin elektronlarning harakatidan yuzaga keladigan o'tkazuvchanlik *elektron o'tkazuvchanlik*, yoki *p-tip o'tkazuvchanlik* (negative –manfiy so'zidan olingan) deyiladi.

Bog'langan elektron erkin bshlishi uchun kinetik energiyasini oshirish kerak. Shu maqsadda uning atom bilan bog'lanishidan ozod qilishga etarli (yoki undan katta) ishga teng bo'lgan tashqaridan energiya berish kerak, masalan, yarim o'tkazgichni qizdirish yo'li bilan shunday qilish mumkin. Binobarin, temperatura ko'tarilishi bilan yarim o'tkazgichdagi erkin elektronlar soni ortadi.

Erkin elektron konsentratsiyasining ortishi yarim o'tkazgich o'tkazuvchanligi oshiradi va shunga muvofiq yarim o'tkazgich qarshiligini kamaytiradi. To'g'ri, temperaturaning ortishi bilan yarim o'tkazgich atomlarining xotik harakati zo'rayadi va bu bilan elektronlarning tartibli harakatini qiyinlashtirib va yarim o'tkazgich qarshiligini oshiradi. Biroq erkin elektronlar konsentratsiyasining ortishining yarim o'tkazgich qarshiligiga ta'siri atomlarning xotik harakatining zo'rayishi ta'siridan kuchliroq bo'ladi. Shuning uchun temperatura ko'tarilishi bilan yarim o'tkazgichning qarshiligi kamayadi.

§37. Fotoelektrik elementlar quyosh batareyalari.

Fotodiodlar. Ayrim moddalarga yorug'lik tushganda, energiya modda atomlari tomondan yutilib, elektron – kovak juftini hosil qiladi. Bu moddadan yasalgan material uchlariiga kuchlanish berilsa, elektronlar bir tomonga, kovaklar ikkinchi tomonga harakat qiladi. Yorug'lik intensivligi oshishi bilan tok kuchi ham ortib boradi. Fotoelektrik qurilmalarda yorug'lik ta'sirida kuchlanish hosil bo'ladi. Fotodiodlar – yorug'lik ta'sirida elektr tokini o'tkazuvchi qurilma sifatida ishlatiladi. **Yorug'lik diodlar** – bu bir yoki bir necha r-p o'tishga ega bo'lgan diod bo'lib, undan tok o'tganda o'zidan yorug'lik chiqaradi. Bu diodda tok tashuvchi zarrachalar elektronlar va kovaklardan iborat bo'lsa-da, elektronlarning miqdori kovaklarga nisbatan ko'proq bo'ladi. Elektronlar p sohadan n-sohaga o'tish davomida, bir energetik sathdan ikkinchisiga o'tadi. Elektronlar n-

sohada kovaklar bilan rekombinatsiyalanib o'zlarining ortiqcha energiyalarini yo'qotadi. Bu energiya nur sifatida namoyon bo'ladi. Tok ortishi bilan yorug'lik intensivligi ham ortadi. Chiqayotgan nur kengroq fazoga taqsimlanishi uchun diodning nur chiqayotgan sohasiga ixcham linza ham o'rnatiladi. Diod materialiga qarab undan chiqayotgan nurning rangi ham har xil bo'ladi. Yorug'lik diodlari yorug'lik indikatorlari, optoelektron asboblarda nurlanish manbai, kinofototexnikada va avtomatik qurilmalarda keng qo'llanilishi bilan bir qatorda, hozirda energiya tejamkor yoritish vositalari sifatida ko'cha va uylarning va ko'cha yoritish lampalari sifatida hamda ko'cha reklama shchitlarida ham qo'llanilmoqda. Fotodiod va yorug'lik diodlarning shartli belgilanishi.

Mavzu yuzasidan testlar

1. Diod anodiga elektron $8 \cdot 10^6 \text{ m/s}$ tezlik bilan keladi. Anod kuchlanishini toping.

- A) 200 V B) 190 V C) 180 V D) 160 V

2. Germaniy 0 dan 17°C gacha isitilmoqda. Germaniyning ta'qiqlangan zonasi kengligi $0,72 \text{ eV}$ teng deb, uning solishtirma o'tkazuvchanligi necha marta oshishini aniqlang.

- A) 2,45 marta B) 2,45 marta C) 2,45 marta D) 2,45 marta

3. Toza kremniygacha unchalik ko'p bo'lmagan bor aralashmasi kiritilgan. Mendeleev elementlar davriy tizimidan foydalanib, aralashmali kremniy o'tkazuvchanligining turini aniqlang va tushutiring.

- A) p – tip B) n – tip C) p, n – tip D) o'tkazgich

4. Yarim o'tkazgichlarning solishtirma qarshiligini ko'rsating.

- A) $\rho = \rho_0 e^{\frac{\Delta E}{2kT}}$ B) $\rho = \rho_0 \alpha T$ C) $\rho = \rho_0 e^{-\frac{\Delta E}{2kT}}$ D) $\rho = \rho_0 e^{\frac{\Delta E}{2RT}}$

5. Yarim o'tkazgichlarda zaryad tashuvchilar zarrachalar qanday?

- A) Erkin elektronlar va kovaklar, B) Ionlar, C) Protonlar, D) Erkin elektronlar

6. Yarimo'tkazgich temperaturasi oshishi bilan qarshiligi qanday o'zgaradi?

- A) Ortadi, B) O'zgarmaydi, C) Kamayadi, D) Avval ko'payib keyin kamayadi

7. Yarimo'tkazgichlar qatorini ko'rsating.

- A) Si, Ge, C B) Si, Fe, P C) Ge, Ti, Au D) C, Ag, Mb

8. Elektrik jihatdan butunlayicha neytral, qisman yoki to'liq ionlashgan moddaning holatiga ... deyiladi

A)Plazma, B)Ionlashgan gaz, C)Ionizator, D)Elektrolit

9. Juda katta aniqlikda ishlovchi va elektr xususiyatiga ega termometrlarni ko'rsating.

A)Barcha javoblar to'g'ri, B)Termoparalar, C)Termistorlar
D)Qarshilik termometrlari

10. Yarim o'tkazgichlarda zaryad tashuvchilar zarrachalar qanday

A)Erkin elektronlar va kovaklar, B)Ionlar, C)Protonlar D)Erkin elektronlar

Mavzu yuzasidan savollar

1. Yarimo'tkazgichlar va dielektriklar, metallar va dielektriklar zonalar nazariyasi bo'yicha bir-biridan nima bilan farq qilada?

2. Haroratning oshishi bilan yarimo'tkazgich o'tkazuvchanligining oshishini qanday tushuntirish mumkin?

3. Yarimo'tkazgichlarda xususiy o'tkazuvchanlik nimaga asoslangan?

4. Nima uchun xususiy yarimo'tkazgichlarda Fermi sathi ta'qiqlangan zona o'rtasiga joylashgan? Bu holni isbotlang.

5. Yarimo'tkazgichlardagi elektronli, aralashmali va teshikli aralashmali o'tkazuvchanlikning mexanizmi nimadan iborat?

6. Yarim o'tkazgichda electron haqida tushuncha bering.

7. Nima sababdan ancha yuqori haroratlarda aralashmali yarimo'tkazgichlarda xususiy o'tkazuvchanlik ustunlik qiladi?

8. Termoelektron hodisalarning yuzaga kelishining mohiyati nimadan iborat? Ularning hosil bo'lishini qanday tushuntirish mumkin?

9. $p - n$ - o'tish sohasining bir tomonlama o'tkazuvchanligini qanday tushuntirish mumkin?

10. $p - n$ - o'tishning volt-amper xarakteristikasi nimadan iborat? To'g'ri va teskari tokning hosil bo'lishini tushuntiring.

11. O'tkazgich' yarimo'tkazgichlar va dielektriklar bir-biri bilan qanday farq qiladi?

12. Yarimo'tkazgichlardan germaniy (Ge) ning kristall panjara tuzilishi qanday?

13. Yarimo'tkazgichlarning xususiy elektr o'tkazuvchanligi qanday hosil bo'ladi?

14. Yarimo'tkazgichlarning aralashmali elektr o'tkazuvchanligi qanday hosil bo'ladi?

15. p-n o'tish nima? Diodning tuzilishi qanday? Uning elektronikadagi qo'llanishining afzalligi nimada

16. Tranzistorning tuzilishi qanday? Uning elektronikadagi qo'llanishining afzalligi nimada?

Magnit m aydoni va uning xarakteristikalari.

9-mavzu. Vakuumda toklarning magnit maydoni

§38. Magnit maydoni. Doimiy magnit va aylanma tok va ularning magnit maydoni.

Magnit kuchlarining elektr kuchlaridan oldin kashf qilinishiga tabiatda Yer magnit maydonini oson payqashga imkon beradigan moddalar— «tabiiy magnitlar»ning mavjudligi sabab bo'ldi. Magnit xossalriga ega bo'lgan ruda—*magnetit* (boshqacha «magnit temirtak») qadim zamonlardayoq topilgan edi. Bu ruda asosan temir kuporosi-oksidi $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2$ dan iborat.

Magnetitning xossalari—bu ruda bo'laklarining bir-birini tortishi, ularning temirni, po'latni tortishi va magnetitlar tekkan po'lat buyumlarda magnit xossalari saqlanishi (po'latning magnitlanishi) kishilar tomonidan sezilmay qolmadi. Magnetit sterjencha yoki magnitlangan po'lat og'irlik markazidan o'tuvchi o'qdan osilganida har doim deyarli meridian bilan mos keladigan yo'nalishda burilib qolishi ham kuzatildi. Dengizda suzishning rivoj topgan davrida bunday strelka—magnit kompaslar umumiy ravishda qo'llanilgan edi. Magnit strelka bundan 3000 yil muqaddam ko'hna Xitoyda yo'nalishni aniqlash uchun qo'llanilgan edi (atoqli kishilar sayil qiladigan aravachalarga yo'l qanday burilishidan qat'i nazar, har doim janubga qaragan magnit ko'rsatkichlar o'rnatilgan edi).

Magnitlar o'zaro ta'sirining aniq qonunlarini 1785 yilda Kulon elektr zaryadlarining o'zaro ta'siri qonunlari bilan deyarli bir vaqtda kashf qilgan. Tokning magnit maydoni mavjudligini birinchi marta 1820 yilda daniyalik fizik Ersted payqagan. Shu vaqtdayoq fransuz fizigi Amper magnetizm tabiati elektr zaryadlarining harakatidan iborat deb uning tabiatini aniqlagan edi. 1820 yil oxiriga kelib Bio va Savar tokning magnit maydonini aniq belgilaydigan qonun kashf kildilar. 1883 yilda Faradey va rus olimi Lens elektr va magnit energiyalarining o'zaro bir-biriga aylanish qonunlarini aniqladilar. Moddalar magnit xossalari mohiyati elektrdan ekani haqidagi Amper aytgan fikr faqat XX asrda eksperimental to'liq isbotlandi va qat'iy nazariya sifatida rivojlantirildi.

Ilgari vaqtlarda fiziklar elektr maydoni bilan bog'liq bo'lgan elektr zaryadlaridek, magnit maydoni bilan bog'liq bo'lgan «magnit zaryadlar» yoki «magnit massalar» mavjud deb faraz qilardilar. Bu analogiya elektr zaryadlar orasidagi o'zaro ta'sir qonunlari bilan magnit qutblari orasidagi o'zaro ta'sir qonunlarining o'xshashligi bilan tasdiqlangandek ko'rinardi. Buning ustiga Kulonning ikkala qonuni ma'lum jihatdan Nyutonning butun olam tortishish qonuni bilan o'xshashdir. Biroq, birbiriga bog'liq bo'lmagan holda mavjud bo'lgan musbat va manfiy zaryadlardan farqli ravishda musbat va manfiy «magnit massalari» («shimoliy va janubiy magnetizm») ning har qanday sharoitda ham birbiridan ajratib bo'lmashligi dalili qadimdan ma'lum edi. Sindirilgan magnit bo'laklari qancha bo'lakka sindirilgan bo'lsa ham magnitligicha qola beradi. Shuning uchun magnit massalari mavjudligi hakidagi faraziya haqiqatga yaqin bo'lib chiqmadi va Amperning magnit xossalarini molekulyar toklar vujudga keltiradi degan farazi qiziqish tug'dira boshladi. Biroq o'sha yillari «magnitostatika»ning barcha masalalarini elektrostatiikaning shunga o'xshash masalalarini yechishga keltiruvchi matematik metodlar ishlab chiqilgani tufayli fiziklar bu metodlarning rivojlanishi, ayniqsa, sodda bayon qilinishi uchun «magnit massalari», haqidagi gipotezadan kelib chiquvchi terminologiyani qo'llash qulay deb tushunar edilar. Qat'iy aytganda, bu terminologiyaga zaruriyat yo'q edi, chunki bunday matematik usullardan foydalanish uchun magnit qutblari–magnit maydoni intensivligi (konsentrasiyasi) eng ko'p bo'lgan joylardir, degan yetarlicha to'liq asoslangan tushunchaning o'zi yetarli edi.

Davrga xos odat kuchi tufayli magnit qutblari tushunchasi magnit maydoni manbai bo'lgan magnit massa haqidagi metafizik tasavvur bilan soxtalashtirib yuborildi. Magnetizmnı bunday tushuntirish barcha o'quv qo'llanmalarida, qisman ilmiy adabiyotda ham uzoq vaqt hukm surdi. Magnit maydoni va moddalar magnit xossalarining haqiqiy «manbai» hyech qanday mavjud bo'lmagan soxta magnit massalar emas, balki molekulyar toklar ekanligi aniqlanganidan so'ng eskicha tavsiflashni saqlagan holda, tegishli izohlar bera boshladilar.

Shuning uchun oxirgi paytda magnetizm haqidagi ta'limotni butunlay boshqa asoslarda qayta qurishga oid intilishlarga ajablanmasa bo'ladi. Shunga o'xshash barcha hollarda bo'lgani kabi, ayrim avtorlar,

endi boshqa kuyga tushdilar: magnetizm haqidagi ta'limotni magnit massalari haqidagi metafizik tasavvurdan ozod qilish bilan bir yo'lakay fizikadan magnit qutblari haqidagi tushunchani ham ulotqirib tashlashga ahd qildilar. Magnetizمنى eksperiment va kuzatishlarga asoslangan magnit qutblari tushunchasidan foydalanmay izohlaydigan bir necha o'tkir, biroq sun'iy, unchalik ishonch hosil qilmaydigan usullari taklif qilindi.

Magnit hodisalarini bunday izohlash o'rinli emas. *Magnit qutblari* – bu uydirma emas, reallikdir. Magnetizمنى eksperimental tekshirishning butun tarixiy taraqqiyoti magnit qutblari haqidagi - tasavvurga tayanishi bejiz emas.

Shubhasiz, har qanday fizik nazariyani bayon qilishning ko'p usullarini o'ylab topish mumkin. Biroq shunday bayon qilish usuli to'g'ri bo'ladiki, u birinchidan, fizikaning haqiqiy rivojlanish yo'lini to'la yoritishi va, ikkinchidan, oddiy kuzatishlar va eksperimentlar asosida yaratilgan tushunchalarga tayangan bo'lishi kerak. Masalan, kuch tushunchasidan foydalanmagan holda mexanikani tuzib chiqish mumkin (Gers shunday qilgan edi). Yaqinda Nyuton dinamikasini nyutoncha inersiya tushunchasidan foydalanmagan holda bayon qilish taklif qilingan edi. Termodinamikani entropiya tushunchasini qo'llamasdan bayon qilish mumkin. Issiqlik hodisalari haqidagi ta'limotni issiqlik tushunchasidan foydalanmagan holda bayon qilishga doir ba'zi urinishlar ham bor va h.k. Fizikaning ayrim bo'limlarini bunday bayon qilish usullari fizikaning haqiqiy rivojlanishidan ajralib qolishi tufayli odatda o'zining samarasizligini yaqqol oshkor qilib qo'yadi, darsliklarda esa foydadan ko'ra ko'proq zarar keltiradi.

Magnit qutblari haqidagi tasavvur o'zining to'liqligi va aniqligi bilan nazariyani eksperimental dalillar bilan bog'laydi. Bunga sabab, magnit qutblari haqidagi tasavvurlarda magnit maydonining obyektiv, real xususiyatlari o'z aksini topgan. Biz tabiiy magnit bilan, sun'iy magnitlangan jism bilan, elektromagnit bilan katta yoki juda kichik magnit bilan ish ko'rishimizdan qat'i nazar, ular maydonini o'rganish hamma vaqt maydon eng ko'p to'plangan, maydon intensivligi maksimal bo'lgan joylar borligini va bunday joy har doim albatta ikkita bo'lishini ko'rsatadi. Bu joylar ko'p jihatdan o'xshash, lekin ularning ba'zi xossalari ishora jihatdan qarama-qarshi bo'ladi. Maydon ko'proq

yig'ilgan bu joylarda va unga yaqinroq yotgan sohalarda magnit maydoni energiyasining ko'proq qismi yig'ilgan bo'ladi.

Magnit qutblari-«nuqtalar» emas, ozmi - ko'pmi cho'zilgan sohalardir, lekin ba'zan taxminan ularni «nuqtalar» deb qarash mumkin. Bu yerda ham mexanikada ma'lum hollarda real jism moddiy nuqta deb qaralgani kabi, qutblar ham «nuqtalar» deb qaraladi.

Karton varaq ustiga sepilgan temir kukunlariga magnitni yaqinlashtirib ohista chertilgandagi barchaga ma'lum manzara magnit maydoni strukturasi haqida birinchi tasavvur beradi. Bu oddiy tajribada magnitlangan kukunning magnit kuch chiziqlari bo'ylab joylashishi magnit maydonini hosil qilgan materiyaning yashirin harakati mavjud ekanligidan dalolat beradi. Maydonga mitti magnit strelkalari joylashtirganimizda maydonning yanada to'laroq manzarasini hosil qilamiz, magnit strelkalarining ma'lum oriyentatsiyalanishi maydon kuch chiziqlarining qutbliligini aniq ko'rsatadi, ya'ni maydon chizig'ida manfiy va musbat yo'nalish bor ekanligini oydinlashtiradi.

Magnit strelkaning Yer magnit maydonida shimolga qaragan uchi shimoliy yoki musbat qutb, qarama-qarshi uchi janubiy yoki manfiy qutb deyiladi. Bir ismli magnit qutblari itarishishi, har xil ismli qutblari tortishishi hammaga ma'lum. Demak, Yerning shimoliy geografik qutbida uning janubiy magnit qutbi joylashgan (9.1-rasm). Magnit tashqarisidagi maydon kuch chiziqlari shimoliy (musbat) qutbdan uning janubiy (manfiy) qutbiga yo'nalgan deb hisoblanadi, magnit ichida esa ular tutashadi.



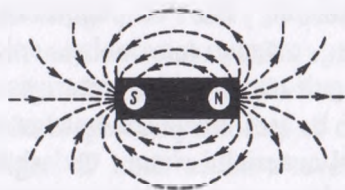
9.1-rasm. Yer magnit maydonining kuch chiziqlari yo'nalishi.

To'g'ri chiziqli magnit maydonini batafsil o'rganish magnit maydoni kuch chiziqlari yig'ilishi uning uchlarida bo'lmasdan, uchlaridan biror masofada ekanini ko'rsatdi. Magnitlangan 68 cm uzunlikdagi ingichka po'lat simda (Kulon klassik tajribalarini shunday simlar bilan o'tkazgan edi) qutblar sim uchlaridan 2 cm masofada joylashgan.

Elektr zaryadlari kattaligi zaryadlarning o'zaro ta'sir kuchida namoyon bo'lganidek, magnit qutblari ham qutblarning o'zaro ta'sirida namoyon bo'luvchi qutb kattaligi (magnetizm kattaligi) bilan xarakterlanishi Kulon tajribalarida aniqlangan. Magnit qutbi kattaligi birligi teng qutblarning uzunlik birligiga teng masofadan 1 birlik kuch bilan o'zaro ta'sirining dinamik effekti bilan aniqlanadi. «Magnit qutbi kattaligi birligi» so'zi qisqacha «magnetizm birligi» deb yuritiladi.

«Absolyut» magnit birligi sistemasida (Gauss sistemasida) magnit qutbi kattaligi birligi qilib, vakuumda 1 cm masofadagi o'ziga teng qutbga 1 dina kuch bilan ta'sir qiladigan magnit qutbi kattaligi olinadi, bunda, boshqa qutblar ta'siri uzoqlashtirib butunlay yo'qotiladi. Agar magnit qutbi kattaligi kuchning 1 absolyut magnit birligicha bo'lib, uning 1 cm masofadagi boshqa qutb bilan o'zaro ta'siri 1 dina emas, $1m$ dinaga teng bo'lsa, u holda bu ikkinchi qutb kattaligi m absolyut magnit birligiga teng ekanini bildiradi.

Magnit qutbi absolyut birligini xayoliy tasavvur qilish mumkin: 1 mm yo'g'onlikdagi paypoq to'qiydigan spisa to'yinishgacha magnitlanganda har bir magnit qutbi kattaliga taxminan 12 birlikka teng bo'ladi.



9.2- rasm. Magnit sterjening magnit induksiya chiziqlari.

Doimiy tokning magnit maydoni. 1820 yilda Daniya fizigi X. Ersted tokli o'tkazgichning atrofida magnit maydoni bor ekanligini tajribada aniqladi. Ersted tajribasining mohiyati quyidagidan iborat. U to'g'ri

chiziqli o'tkazgich olib, undan ma'lum masofada magnit strelkasini joylashtirgan vaqtda uning burilishini kuzatdi. Bu burilish to'g'ri chiziqli o'tkazgichdan o'tayotgan tokning kattaligiga va yo'nalishiga bog'liq ekanligini aniqladi.

Tokli o'tkazgich bilan magnit strelkasining o'zaro ta'siri masofaga teskari proporsional ekanligini ham aniqladi. Ersted tajriba natijalarini umumlashtirib, shunday xulosaga keldiki, tok bilan magnitning o'zaro ta'siri tok kuchiga, o'tkazgichning uzunligiga to'g'ri proporsional bo'lib, masofaning kvadratiga teskari proporsional ekanligini aniqladi. Tajribalar ko'rsatdiki, bu o'zaro ta'sir tokning yo'nalishiga bog'liq ekanligi, ya'ni bu o'zaro ta'sirning vektor xarakterga ega ekanligini isbotladi. Shuningdek, u bu o'zaro ta'sirning kattaligi tok va maydonning ta'siri o'rganilayotgan masofaga perpendikulyar ekanligini ham aniqladi. Magnit kuch chiziqlarining konsentrik halqalardan iborat ekanligini ko'rish mumkin.

Keyinchalik Amper doimiy magnitning tokli o'tkazgichga ta'sirini o'rganib, ular o'rtasida ham o'zaro ta'sir kuchi bor ekanligini aniqladi. Ma'lumki, Amper yana bir tajribasida parallel va antiparallel joylashgan tokli o'tkazgichlarning bir birini tortishini va itarishini kuzatgan edi. Kulon qonunidan ma'lumki, bir xil qutbli magnitlar, bir birini itarishini va har xil qutbli magnitlar bir birini tortishishini bilamiz. Bu o'zaro ta'sirlar magnit maydoni orqali amalga oshiriladi. Tokli o'tkazgich o'z atrofida magnit maydoni hosil qiladi u shu maydonda joylashgan har qanday o'tkazgichga ta'sir ko'rsatadi. Agar o'tkazgichlardagi tok doimiy bo'lsa va o'tkazgichlar qo'zg'almas bo'lsa u vaqtda ular hosil qilgan magnit maydoni fazoning har bir nuqtasida vaqt o'tishi bilan o'zgarmaydi. Bunday magnit maydoniga doimiy magnit maydon deyiladi. Doimiy magnit maydonining nazariyasi elektrostatik maydon nazariyasiga o'xshash bo'ladi. Mana shu holatga e'tibor berishni tavsiya etamiz, chunki bu hol materialni chuqur o'zlashtirishga yordam beradi. **Magnit kuch chizigi deb** – uning ixtiyoriy nuqtasiga o'tkazilgan urunma magnit maydonning shu nuqtasidagi musbat magnit qutbiga ta'sir etuvchi kuch bilan bir xil yo'nalgan xayoliy chiziqqa aytiladi. Magnit kuch chiziqlari doimo berk bo'ladi. Tokli o'tkazgich atrofida hosil bo'ladigan magnit maydon yo'nalishi parma qoidasiga asosan aniqlanadi. Unga binoan agar parma ilgarilanma harakat yo'nalishi tok

yo'nalishi bilan mos kelsa, parma dastasining harakat yo'nalishi magnit maydon yo'nalishini ko'rsatadi.

Demak ikkalasi o'xshash. Shuning uchun 1820 y Amper doimiy magnitning sababchisi aylanma toklar ekanligi haqidagi gipotezani ilgari surdi. Aylanma toklar esa elektronlarning o'z o'qi va yadro atrofida aylanishi natijasida hosil bo'ladi.

§39. Magnit maydon induksiya vektori. Magnit maydon induksiyasi vektori uchun superpozitsiya prinsipi.

Magnit maydonni miqdoriy tomondan baholash uchun magnit induksiya vektori degan tushuncha kiritiladi. Bir jismli *magnit maydon induksiyasi* birlik ramkaga ta'sir etuvchi maksimal magnit momentiga son jihatidan teng bo'lgan fizik kattalikdir.

$$B = \frac{M_{\max}}{P_{\infty}} \quad (9.1)$$

Mikrotoklar magnit maydonini magnit maydon kuchlanganligi ifodalaydi, B esa ham makro, ham mikrotoklar magnit maydonini xarakterlaydi. U holda ular orasida qo'yidagi bog'lanish mavjud.

$$B = \mu\mu_0 H \quad (9.2)$$

μ_0 – magnit doimiysi, $4 \pi \times 10^{-7}$ Gn/m

μ – o'lchamsiz kattalik bo'lib magnit kirituvchanlik deyiladi. U makrotoklar maydoni mikrotoklar maydoni hisobiga qanchaga kuchayishini ko'rsatadi.

Magnit maydoni ham superpozitsiya prinsipiga amal qiladi.

Magnit induksiyasi birligi qilib Tesla (Tl) qabul qilingan. 1 Tl – bu shunday bir jinsli magnit maydon induksiyasiki, agarda undan 1 A tok o'tsa, uning har bir metriga 1 N kuch ta'sir qiladi.

Amper aniqlashicha magnit maydonidagi dl o'tkazgichga maydon tomo-nidan ta'sir etadigan dF kuch undan o'tuvchi tokka, dl element uzunligiga va magnit maydon induksiyasiga proporsionaldir.

Ta'sir etuvchi kuch yo'nalishi chap qo'l qoidasiga asosan topiladi. Agar chap qo'limiz shunday qo'yilsaki, unga normal holda magnit kuch chiziqlari kirs va tok to'rtala barmog'imiz yo'nalishida oqsa, u holda bosh barmog'imiz ta'sir etuvchi kuch yo'nalishini ko'rsatadi. Amper kuchi moduli.

$$dF = IBdl \sin \alpha \quad (9.3)$$

Harakatlanayotgan zarrachaga magnit maydon tomonidan ta'sir etuvchi kuch Lorens formulasi orqali ifodalanadi.

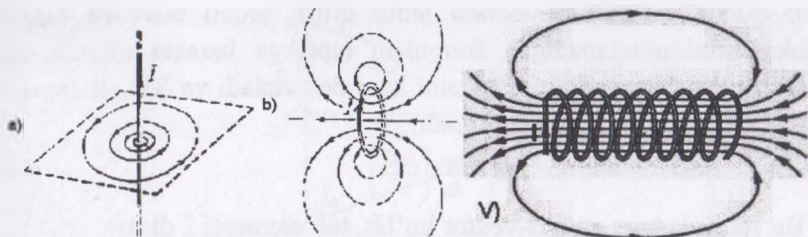
$$F = QVB \sin \alpha \quad (9.4)$$

Jismlar atom va molekulalardan tashkil topganligi uchun ularning magnit xususiyatini ham shu zarrachalarning magnit xususiyati belgilaydi. Klassik nuqtai nazardan qarasak elektron orbita bo'ylab V tezlik bilan aylanadi. Bu aylanma tokka o'xshash.

Maydon nazariyasida elementar manba eng muhim rol o'ynaydi. Tortishish nazariyasida bu moddiy nuqta bo'lsa, elektrostatikada nuqtaviy zaryad. Xuddi shunday rolni magnit maydon nazariyasida tok elementi o'ynaydi. Tok elementi bu vektor bo'lib, uning absolyut kattaligi tok kuchi I ning o'tkazgichning dl qismiga ko'paytmasi bilan aniqlanadi, Idl yo'nalishi esa tokning yo'nalishi bilan mos tushadi. Elektrostatikada esa sinov zaryad q_0 olinar edi.

Magnit maydonining asosiy xarakteristikasi hisoblangan magnit maydon induksiya vektori ham elektrostatik maydonning asosiy xarakteristikasi hisoblangan kuchlanganlik vektori kabi aniqlanadi.

Masalan, $\alpha=0$; bo'lganda dF ham 0 ga teng bo'ladi, $\alpha=\pi/2$ bo'lganda u maksimaldir. dF ning yo'nalishi tok elementining yo'nalishiga bog'liqdir va parma qoidasi bilan aniqladi. Har qanday vektor maydon singari, magnit maydonini ham magnit induksiya vektori chiziqlari oilasi orqali tasvirlash mumkin (elektrostatikadagi kabi). Magnit induksiya chiziqlarining manzarasi o'zining xarakteri jihatidan elektrostatik maydon kuch chiziqlaridan tubdan farq qiladi. Ma'lumki, elektrostatik maydon kuch chiziqlari zaryadlardan boshlanib, zaryadlarda tugar edi, magnit induksiya kuch chiziqlarining boshlanish va oxiri yo'q - ular yopiq chiziqdan iborat bo'ladi. Magnit induksiya chiziqlarining bu xossasi 9.3- rasmda yaqqol ko'rinadi, a) to'g'ri chiziqli cheksiz uzun o'tkazgich, b) aylanma tok v) tokli g'altakning magnit maydon manzarasi tasvirlangan.



9.3 – rasm. Magnit induksiya chiziqlari

Chiziqlari yopiq bo'lgan vektor maydoniga uyurmali maydon deyiladi. Demak, doimiy magnit maydoni- uyurmali bo'lib, uyurmali emas elektrostatik maydonidan farq qiladi. Ma'lumki, elektrostatik maydonning kuch chiziqlari yopiq emas edi.

Superpozitsiya prinsipi. Savol tug'iladi: qanday qilib toklar hosil qilgan magnit maydonning taqsimlanishini yoki maydonning induksiyasini hisoblash mumkin. Eslatib o'tamizki, bunday muammoga elektrostatikada ham duch kelgan edik, ya'ni zaryadlarning taqsimlanishi berilgan bo'lsa, superpozitsiya prinsipi asosida elektrostatik maydon kuchlanganligini hisoblagan edik.

Tajribalar tasdiqlaydiki, shunga o'xshash prinsip magnit maydonida ham mavjud bo'ladi: tokli o'tkazgichlar sistemasi tomonidan hosil qilgan maydonning muayan nuqtadagi magnit induksiyasi shu nuqtada alohida toklar qismlari hosil qilgan magnit induksiyalarining yig'indisiga teng bo'ladi. Hususan, agar o'tkazgichlarni fikran cheksiz kichik elementlarga bo'lsak, quyidagiga ega bo'lamiz

$$\vec{B} = \int d\vec{B} \quad (9.5)$$

Bu yerda $d\vec{B}$ - alohida tok elementi tomonidan hosil qilingan magnit maydon induksiyasi bo'lib, integrallash sistemadagi barcha tokli o'tkazgichlar bo'yicha bajariladi.

§40. Bio-Savar-Laplas qonuni. To'g'ri va aylanma tokning magnit maydonini hisoblash.

Bio-Saavar-Laplas qonuni. Dastlab, alohida tok elementi hosil qilgan magnit maydon induksiyasini topadigan formulani keltirib chiqarish kerak. Bu yerda izolyatsiyalangan tok elementlari orqali tajribadan keyin, cheksiz uzunlikdagi turli shakldagi o'tkazgichlarning

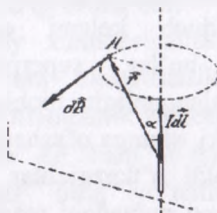
hosil qilgan magnit maydonini tahlil qilish orqali bilvosita magnit induktsiyasini aniqlanadigan formulani topishga harakat qilamiz. Bu masalani Bio-Saavar-Laplas qonuni ham deb ataladi va XB sistemasida quyidagicha ko‘rinishga ega bo‘ladi:

$$d\vec{B} = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \left[\frac{Id\vec{r}}{r^3} \right] \quad (9.6)$$

Bu formulada $\vec{r}$ -radius-vektor bo‘lib, tok elementi $I dl$ dan vektor $\vec{B}$ aniqlanayotgan maydon nuqtasiga o‘tkazilgan yo‘nalishdagi masofani bildiradi (9.4-rasm). $\mu_0=4\pi \cdot 10^{-7}$ Gn/m -magnit doimiylik, μ -nisbiy magnit singdirvchanlik. $d\vec{B}$ vektorining moduli uchun, (9.6) ga asosan quyidagiga ega bo‘lamiz:

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Idl \sin \alpha}{r^2} \quad (9.7)$$

Bu yerda α - tok elementi $I dl$ bilan, radius-vektor $\vec{r}$ orasidagi burchak, $\vec{B}$ vektorning yo‘nalishi vektor ko‘paytma $[\vec{I}dl \cdot \vec{r}]$ yo‘nalishi bilan mos keladi va Parva qoidasi bilan aniqlanadi.

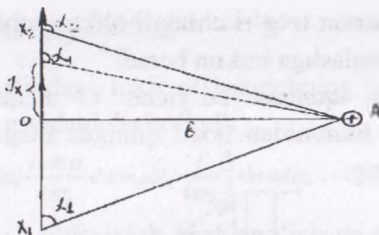


9.4-rasm. Tok elementi magnit induktsiyasini hisoblash chizmasi

Ma'lumki, $d\vec{B}$ kattalik faqat masofa r ga bog‘liq bo‘lmasdan, α burchakka ham bog‘liqdir, agar $\alpha=0$ bo‘lsa, magnit induktsiyasi nolga teng va α ning $\pi/2$ ga yaqinlashishi bilan U oshadi.

Superpozitsiya prinsipini qo‘llab Bio-Saavar-Laplas qonuni orqali har qanday tokli o‘tkazgichning magnit maydonini hisoblash imkoniyatiga ega bo‘lamiz.

To‘g‘ri tokli o‘tkazgichning magnit maydoni. Qandaydir yupqa tokli o‘tkazgich to‘g‘ri qismga ega bo‘lsin. Ana shu to‘g‘ri chiziqli qism hosil qilgan magnit maydon induktsiyasini hisoblaymiz. Maydonning qaralayotgan nuqtasidan o‘tkazgichgacha bo‘lgan masofani dx bilan belgilaymiz, o‘tkazgich bo‘ylab koordinatani 0 nuqtadan boshlab X o‘qini o‘tkazamiz (9.5-rasm).



9.5-rasm. To'g'ri tokli o'tkazgichning magnit maydonini hisoblash chizmasi

Koordinatasi x va uzunligi $dl=dx$ bo'lgan o'tkazgich tok elementining A nuqtada hosil qilgan magnit induksiya vektori Bio-Saavar-Laplas qonuniga ko'ra:

$$dB = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{I dx \sin \alpha}{r^2} \quad (9.8)$$

ga teng bo'ladi.

(9.8) va Parma qoidasidan foydalanilsa, o'tkazgichning barcha kichik elementlari hosil qilgan $d\vec{B}$ vektorlari bir hil yo'nalishga, chizma orqasi tomon yo'nalgan bo'ladi va (+) bilan belgilanadi. Shuning uchun yig'indi vektor $\vec{B}$ ham shu yo'nalishga tomon bo'ladi, uning absolyut miqdori barcha $d\vec{B}$ larning absolyut miqdorlarining yig'indisiga teng bo'ladi, ya'ni quyidagi aniq integral bilan ifodalanadi:

$$B = \int dB = \int \left(\frac{\mu_0 I \sin \alpha dx}{4\pi r^2} \right) \quad (9.9)$$

Bu integralni hisoblash uchun o'zgaruvchi α ni r va dx orqali ifodalash kerak.

9.5-rasmdan ko'rinadiki, $x = b \operatorname{ctg}(\pi - \alpha) = b \operatorname{ctg} \alpha$, buni differensiallasak, $dx = b d\alpha / \sin^2 \alpha$ ni hosil qilamiz. r uchun esa $r = b / \sin(\pi - \alpha) = b / \sin \alpha$. Bularni (9.9) ga qo'ysak, u quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

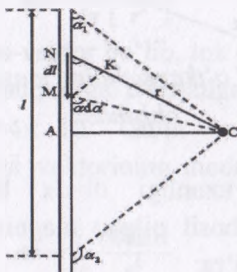
$$B = \int dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi b} \int \sin \alpha d\alpha = \frac{\mu_0 I}{4\pi b} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2) \quad (9.10)$$

bu yerda α_1 va α_2 lar α ning chegaraviy qiymatlari bo'lib, to'g'ri chiziqli o'tkazgichning oxirlariga to'g'ri keladi. Ideal holda cheksiz uzunlikdagi to'g'ri chiziqli o'tkazgich uchun $\alpha \rightarrow 0$ va $\alpha_2 \rightarrow \pi$ bo'ladi, u vaqtda (9.10) formula quyidagicha ko'rinishga keladi:

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi b} \quad (9.11)$$

Bu formula taxminan to'g'ri chiziqli o'tkazgichning o'rtasiga to'g'ri kelgan maydonni aniqlashga imkon beradi.

Bio-Savar-Laplas qonuni bo'yicha C nuqtada o'tkazgichning elementar qismi dl tomonidan hosil qilingan magnit induksiya (9.6-rasm) quyidagiga teng:



9.6-rasm. O'tkazgichning elementar qismi dl tomonidan hosil qilingan magnit induksiya

$$dB = \mu\mu_0 \frac{Idl \sin \alpha}{4\pi r^2} \quad (9.12)$$

Mazkur holda C nuqtada vektor perpendikulyar yo'nalgan. Xuddi shunday yo'nalishga o'tkazgichning boshqa elementlari hosil qilgan magnit induksiya vektori ham ega bo'ladi. Bu esa (9.12) dagi vektorni yig'indi algebraik ifoda bilan almashtirishga imkon beradi.

Shunday qilib, C nuqtada l tokli o'tkazgich tomonidan hosil qilingan yig'indi induksiya topish uchun (9.12) ifodaning yig'indisini olish kerak, yoki integrallash kerak. Buning uchun r va dl ni α o'zgaruvchi orqali ifodalaymiz. Rasmdagi ANC uchburchakdan

$$NC = r = \frac{r_0}{\sin \alpha}, \quad (9.13)$$

Bu yerda r_0 – C nuqtadan o'tkazgich yo'nalishiga tushirilgan perpendikulyarning uzunligi. MNK uchburchakdan quyidagini topamiz

$$dl = \frac{MK}{\sin \alpha} \quad (9.14)$$

dl juda kichik bo'lgani uchun, $CM=CK=r$ deb olish mumkin. Shuning uchun

$$MK = r d\alpha = \frac{r_0}{\sin^2 \alpha} d\alpha \quad (9.15)$$

r va dl ning qiymatlarini (9.12) formulaga qo'ysak,

$$dB = \mu_0 \mu \frac{I \sin \alpha}{4\pi r_0} d\alpha \quad (9.16)$$

C nuqtada l uzunlikdagi tokli o'tkazgichning hosil qilgan magnit maydon induksiyasi quyidagicha bo'ladi:

$$B = \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \mu \mu_0 \frac{I \sin \alpha}{4\pi r_0} d\alpha = \mu \mu_0 \frac{I}{4\pi r_0} \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \sin \alpha d\alpha, \quad (9.17)$$

Bu yerda α_1 va α_2 - o'tkazgich boshlang'ich va oxirgi uchlardan C nuqtaga o'tkazilgan radius-vektorlar bilan o'tkazgichning yo'nalishi orasidagi burchaklar.

Keyingi ifodani integrallasak, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$B = \mu \mu_0 \frac{I}{4\pi r_0} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2), \quad (9.18)$$

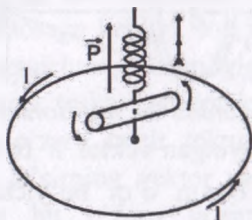
Agar o'tkazgich cheksiz uzun bo'lsa ($l \rightarrow \infty$), u holda $\alpha_1 \rightarrow 0, \alpha_2 \rightarrow 180^\circ$ bo'ladi. U vaqtda $(\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2) \rightarrow 2$. U holda $B = \mu \mu_0 \frac{I}{2\pi r_0}$

(9.19)

Aylanma tokning magnit maydoni. Yopiq tokli o'tkazgichning magnit moment vektorini $\vec{P}$ orqali ifodalash qulaydir, uning kattaligi yassi kontur bo'lgan holda tok kuchi I ning kontur yuzasi S ga ko'paytmasiga teng bo'ladi:

$$\vec{P} = I * S \quad (9.20)$$

Uning yo'nalishi kontur tekisligiga perpendikulyar bo'lib, Parma qoidasi bilan bog'lagandir. Agar Parma dastasini tok yo'nalishi bilan aylantirsak, uning ilgarilanma harakati $\vec{P}$ vektorning yo'nalishini aniqlaydi (9.7-rasm).

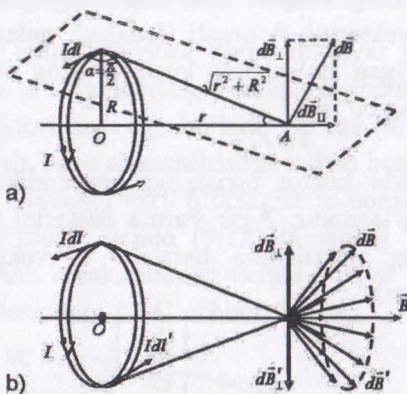


9.7-rasm. $\vec{P}$ vektorning yo'nalishini aniqlaydigan chizma

Endi aylana ko'rinishdagi tokli kontur hosil qilgan magnit induksiyasini topamiz, soddalik uchun kontur o'qida yotgan nuqtani qaraymiz. O'ramning radiusini R bilan, tok kuchini I bilan, o'ram

tekisligidan maydon qaralayotgan nuqtagacha bo'lgan masofani r bilan belgilaymiz.

Alohida tok elementi Idl tomonidan hosil qilingan induksiya vektori $d\vec{B}$, tok elementi va uni kuzatish nuqtasi bilan qo'shuvchi kesma hosil qilgan tekislikka perpendikulyar bo'ladi. $d\vec{B}$ vektorning absolyut qiymati $dB = \frac{\mu_0 Idl}{4\pi(r^2 + R^2)}$, tok elementidan kuzatish nuqtasigacha bo'lgan masofa $\sqrt{r^2 + R^2}$ ga teng, $\sin\alpha=1$, chunki $\alpha=\pi/2$ ga teng. Ko'rsatish mumkinki, barcha o'ram elementlari tomonidan hosil qilingan vektorlar $d\vec{B}$ konus toki bo'yicha joylanadi (9.8 b-rasm). Bu vektorlarni qo'shish uchun ulardan har birini ikkita tashkil etuvchi: $d\vec{B}_\parallel$ kontur o'qiga parallel va $d\vec{B}_\perp$ o'qqa perpendikulyar tashkil etuvchilar yig'indisidan iborat bo'ladi (9.8 a)- rasm). Qo'shilganda $d\vec{B}$ tashkil etuvchilar o'zaro bir birini yo'qotadi, chunki $d\vec{B}_\parallel$ va $d\vec{B}_\perp$ bir biriga diametral qarama-qarshi bo'lgan tok elementlari kattaligi jihatidan teng va yo'nalishi jihatidan qarama-qarshidir.



9.8 -rasm. Aylanma tok maydonini hisoblash chizmasi

Shunday qilib, izlanayotgan vektor $\vec{B}$ barcha $\vec{B}_\parallel$ lar yig'indisi orqali aniqlanadi, demak, u o'ram o'qi bo'yicha yo'naladi va $B = \int dB_\parallel$ kattalikka ega bo'ladi. $d\vec{B}_\parallel$ kattalikni uchburchaklarning o'xshashligidan hisoblash mumkin: $\frac{dB_\parallel}{B} = \frac{R}{\sqrt{r^2 + R^2}}$, bundan $dB_\parallel = B \frac{R}{\sqrt{r^2 + R^2}} = \frac{\mu_0 Idl}{4\pi} \frac{R}{(r^2 + R^2)^{3/2}}$.

Bu ifodani o'ramning barcha elementlari orqali integrallasak, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$B = \int dB_{\perp} = \int \frac{\mu_0 I dl}{4\pi} \frac{R}{(r^2 + R^2)^{3/2}} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{R}{(r^2 + R^2)^{3/2}} \int_0^{2\pi} dl = \frac{\mu_0 I 2\pi R^2}{4\pi (r^2 + R^2)^{3/2}} \quad (9.21)$$

$I\pi R^2 = P$ - o'ramning magnit momentini hisobga olib, oxirida qo'yidagiga ega bo'lamiz:

$$B = \frac{2\mu_0 P}{4\pi (r^2 + R^2)^{3/2}} \quad (9.22)$$

Bu formuladan kelib chiqadiki, maydon kontur markazida ($r=0$) maksimal bo'lib, masofa oshishi bilan kamayib boradi.

Juda uzoqda joylashgan nuqtalar uchun R^2 ni r^2 ga nisbatan etiborga olmaslik mumkin, natijada quyidagi taqribiy formulani olamiz:

$$B = \frac{2\mu_0 P}{4\pi r^3} \quad (9.23)$$

Ko'rsatish mumkinki, bu formula istalgan shakldagi kontur uchun o'rinlidir. Shuni eslatib o'tamizki, bu dipolning elektr maydon kuchlanganligi kabi bo'ladi. Dipol bilan tokli konturning analogiyasi tasdiqlandi va tashqi maydonlar bir xil xarakterga ega bo'ladi.

§41. Tokli o'tkazgichlarning o'zaro magnit ta'siri.

1820 yilda Daniya fizigi X. Ersted tokli o'tkazgichning atrofida magnit maydoni bor ekanligini tajribada aniqladi. Ersted tajribasining mohiyati quyidagidan iborat. U to'g'ri chiziqli o'tkazgich olib, undan ma'lum masofada magnit strelkasini joylashtirgan vaqtda uning burilishini kuzatdi. Bu burilish to'g'ri chiziqli o'tkazgichdan o'tayotgan tokning kattaligiga va yo'nalishiga bog'liq ekanligini aniqladi.

Tokli o'tkazgich bilan magnit strelkasining o'zaro ta'siri masofaga teskari proporsional ekanligini ham aniqladi. Ersted tajriba natijalarini umumlashtirib, shunday xulosaga keldiki, tok bilan magnitning o'zaro ta'siri tok kuchiga, o'tkazgichning uzunligiga to'g'ri proporsional bo'lib, masofaning kvadratiga teskari proporsional ekanligini aniqladi. Tajribalar ko'rsatdiki, bu o'zaro ta'sir tokning yo'nalishiga bog'liq ekanligi, ya'ni bu o'zaro ta'sirning vektor xarakterga ega ekanligini isbotladi. Shuningdek, u bu o'zaro ta'sirning kattaligi tok va maydonning ta'siri o'rganilayotgan masofaga perpendikulyar ekanligini ham aniqladi. Magnit kuch chiziqlarining konsentrik halqalardan iborat ekanligini ko'rish mumkin.

Keyinchalik. Amper doimiy magnitning tokli o'tkazgichga ta'sirini o'rganib, ular o'rtasida ham o'zaro ta'sir kuchi bor ekanligini aniqladi.

Ma'lumki, Amper yana bir tajribasida parallel va antiparallel joylashgan tokli o'tkazgichlarning bir birini tortishini va itarishini kuzatgan edi. Kulon qonunidan ma'lumki, bir xil qutbli magnitlar, bir birini itarishini va har xil qutbli magnitlar bir birini tortishishini bilamiz. Bu o'zaro ta'sirlar magnit maydoni orqali amalga oshiriladi. Tokli o'tkazgich o'z atrofida magnit maydoni hosil qiladi u shu maydonda joylashgan har qanday o'tazgichga ta'sir ko'rsatadi. Agar o'tkazgichlardagi tok doimiy bo'lsa va o'tkazgichlar qo'zg'almas bo'lsa u vaqtda ular hosil qilgan magnit maydoni fazoning har bir nuqtasida vaqt o'tishi bilan o'zgarmaydi.

Mavzu yuzasidan testlar

1. O'zaro parallel joylashgan o'tkazgichlardan oqayotgan tok kuchlarini o'zgartirmasdan oralaridagi masofa 2 marta oshirilsa ularning o'zaro ta'sir kuchi qanday o'zgaradi:

A) 2 marta kamayadi; B) 2 marta oshadi; C) O'zgarmaydi; D) 4 marta oshadi

2. O'zgarmas tok oqayotgan va vakuumda o'zaro parallel joylashgan o'tkazgichlar atrofida magnit maydoni mavjudligini qanday hodisa tasdiqlaydi:

A) O'tkazgichlarning o'zaro ta'sirlashishi; B) O'tkazgichlarning o'zaro itarishishi; C) O'tkazgichlarning o'zaro tortishishi; D) Hech qanday hodisa.

3. Magnit maydoni berk konturda induksiylaydigan tok qanday nomlanadi?

A) Induksion tok, B) Aylanma tok, C) O'zgarmas tok, D) O'zgaruvchan tok

4. Doimiy magnitlarning magnit xossalarga qanday toklar sabab bo'ladi?

A) Aylanma toklar, B) Induksion toklar, C) O'zgarmas toklar, D) O'zgaruvchan toklar

5. Konturdagi xususiy magnit oqimining o'zgarishi natajasida induksion elektr maydonining hosil bo'lish hodisasiga ... deyiladi

A) O'zinduksiya hodisasi, B) O'zaroinduksiya hodisasi C) Faradeyning elektromagnit induksiya qonuni, D) Lorens kuchi

6. "Berk kontur chegaralagan yuza orqali o'tuvchi magnit oqimi o'zgargan barcha hollarda berk konturda tok induksiylanadi" bu ta'rif qaysi fizik olim tomonidan tajribalar asosida isbotlangan qonunni

mazmunini yoritadi?

A) Faradey, B) Kulon, C) Lorens, D) Gelmgels

7. Magnit induksiyasi qanday birlikda o'lchanadi?

A) Amper(A), B) Tesla(Tl), C) Veber(Vb),

D) Lyuks(lx)

8. Baliqlar va qushlar maydon induksiyasi qancha bo'lganda harakatdan to'xtaydi?

A) 40 Tl, B) 4 Tl, C) 0,4 Tl, D) 0,04 Tl

9. Magnit bo'ronlari ta'sirida hayvonlar va hashoratlarning ... kuzatiladi. Gapni to'ldiring.

A) Barcha javoblar to'g'ri, B) Populyasiyasi epidiyalarning takrorlanishi

C) Sezondan boshqa davrda ularning migrasiyasi, D) Hayvon qon to'qimasi tarkibining o'zgarishi, tug'ilish va o'lish

10. Bio-Savar-Laplas qonunining skalyar va vektor ko'rinishidagi (vakuumdagi) ifodalarini aniqlang ($K' = \frac{\mu_0}{4\pi}$).

A) $dB = K' \frac{Jdl \sin \alpha}{r^3}$ ba $d\vec{B} = K' \frac{J[d\vec{l} \cdot \vec{r}]}{r^3}$;

B) $dB = K' J \sin \alpha r^2 dl$ ba $d\vec{B} = K' Jr^3 [d\vec{l} \cdot \vec{r}]$;

C) $\oint B_l dl = \mu_0 \sum_{i=1}^N J_i$ ba $d\vec{B} = K' \frac{J[d\vec{l} \cdot \vec{r}]}{r^3}$;

D) $dB = K' \frac{J \sin \alpha dl}{r^2}$ ba $\int H_l dl = \mu_0 J$.

Mavzu yuzasidan savollar

1. Magnit maydoni nima?

2. Ersted va Amper tajribalari?

3. Amper qonuni?

4. Tesla nimani ifodalaydi?

5. Magnit kirituvchanlik nima?

6. Moddalar magnit xususiyatiga ko'ra necha xil bo'ladi?

7. Magnit maydonining tirik organizmga ta'siri?

8. Magnit zondlari nima?

9. Magnit induksiyasi, uning o'lchov birligi, moduli va yo'nalishi qanday aniqlanadi.

10. Magnitoterapiya nima?

10-mavzu. Magnit maydonning tokli o'tkazgich va elektr zaryadlariga ta'siri.

§42. Amper kuchi. Parallel toklarning o'zaro ta'siri.

Fransuz olimi Amper tokli ikki o'tkazgichning o'zaro magnit ta'sirini aniqladi. Magnit maydonni grafik usulda tasvirlash uchun magnit kuch chiziqlari degan tushuncha kiritiladi. Amper tajribalarda aniqlashicha: magnit maydonidagi dl tokli o'tkazgichga magnit maydon tomonidan ta'sir etadigan $d\vec{F}$ kuch undan o'tuvchi I tok kuchiga, o'tkazgich magnit maydonida joylashgan qismining dl elementar uzunligiga va magnit maydon B induksiyasiga proporsionaldir. $d\vec{F} = I[d\vec{l} \times \vec{B}]$ Tokli o'tkazgichga magnit maydoni tomonidan ta'sir qiluvchi kuchlarni aniqlash uchun quyidagicha ish yuritamiz. O'tkazgichning barcha kichik elementlariga ta'sir etuvchi kuchlarning yig'indisi olinadi, natijada tokli o'tkazgichga ta'sir etuvchi to'la kuch topiladi. Agar o'tkazgich to'g'ri chiziqli bo'lsa, maydon bir jinsli bo'lsa, u vaqtda chekli uzunlik qismiga ta'sir etuvchi kuch $\vec{F}$ ni quyidagicha yozish mumkin:

$$\vec{F} = [I\vec{I}B] \quad (10.1)$$

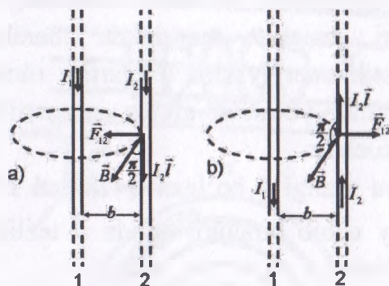
Misol sifatida ikkita parallel uzun tokli o'tkazgichning o'zaro ta'sir kuchini hisoblaymiz. 1-chi va 2-chi o'tkazgichdagi tok kuchlarini I_1 va I_2 bilan belgilasak, o'tkazgich orasidagi masofani b bilan belgilasak (10.1-rasm) 1-chi o'tkazgichning 2-chi o'tkazgichning uzunligi l qismiga ta'sir qiluvchi kuch F_{12} ni hisoblaymiz. 1-o'tkazgichning 2-o'tkazgich joylashgan nuqtalaridagi maydon induksiyasi kattaligi jihatdan teng va yo'nalish jihatdan qarama-qarshi bo'lib, formula (10.1) bilan aniqlanadi. Shuning uchun F_{12} kuch uchun (10.1) formula o'rinnidir. $F_{12} = [I_2 l B]$ va $I_2 l$ bilan B o'rtasidagi burchak $\pi/2$ ga teng ekanligini hisobga olsak, kuchning absolyut qiymati uchun $|F_{12}| = I_2 l B$ ga ega bo'lamiz.

B ning qiymatini qo'ysak, I ni I_1 ga almashtirsak, oxirida quyidagi ifodaga ega bo'lamiz:

$$F_{12} = \frac{\mu_0 2 I_1 I_2 l}{4\pi b} \quad (10.2)$$

F_{12} kuch 1- o'tkazgichga tomon yo'nalgan bo'ladi, agar I_1 va I_2 toklar bir xil yo'nalishga ega bo'lsa, ya'ni ular tortishadi (10.1 a)-rasm), agar

toklarning yo'nalishi qarama-qarshi bo'lsa, ular itarishadi. (10.1 b)-rasm). Shunday qilib, bir xil yo'nalgan parallel toklar bir biriga tortishadi, qarama-qarshi yo'nalishda (antiparallel) bo'lsa bir biridan itariladi.



10.1-rasm. Parallel tokli o'tkazgichlarning o'zaro ta'siri

Formula (10.2) XB sistemasida tok kuchining birligini aniqlashda qo'llaniladi. Agar $I_1 = I_2 = 1\text{A}$, $b = 1\text{m}$ bo'lsa $F_{12}/l = 2\mu_0/4\pi$ bo'ladi. Shunday qilib, 1 amper tok kuchi shunday tok kuchiki, uzun parallel o'tkazgichlardan o'tganda o'tkazgichning uzunlik birligiga $2\mu_0/4\pi$ yoki (10.2) ga ko'ra $2 \cdot 10^{-7} \text{ N/m}$ kuchni hosil qiladi.

§43. Magnit maydonning xarakatdagi zaryadga ta'siri. Lorens kuchi

Harakatlanayotgan zaryadli zarrachaga magnit maydon tomonidan ta'sir etuvchi kuch Lorents kuchi orqali ifodalanadi. Magnit maydonida ϑ tezlik bilan harakatlanayotgan q zaryadli zarrachaga ta'sir qiluvchi F Lorents kuchi

$$F = q\vartheta B \sin \alpha \quad (10.3)$$

bo'ladi. Bunda α — ϑ tezlik va B magnit maydon induksiya vektori orasidagi burchak. Lorents kuchining yo'nalishi chap qo'l qoidasiga asosan topiladi.

Uni qo'llaganda shuni esda tutish kerakki, agar magnit maydonda $+q$ musbat zaryad harakat qilayotgan bo'lsa, u holda ochilgan to'rt barmog'imiz zaryad harakat qilayotgan tomonga yo'naltirilishi, ya'ni ϑ vektorning yo'nalishi bilan mos kelishi kerak, agar zaryadlangan $-q$

zaryad harakat qilayotgan bo'lsa, u holda ochilgan to'rt barmog'imiz ϑ ga qarshi yo'nalgan bo'lishi kerak.

$\vec{F}_l$ Lorents kuchi har doim $\vec{B}$ va $\vec{\vartheta}$ vektorlar yotgan tekislikka perpendikulyar bo'lar ekan. Bu esa ushbu vektorlarning har biriga perpendikulyar ekanligini bildiradi. Demak, Lorents kuchi ish bajarmaydi, ya'ni magnit maydonda harakatlanayotgan erkin zaryadlarning kinetik energiyasini o'zgartira olmaydi. U faqat erkin zaryadlarning harakat yo'nalishinigina o'zgartirish mumkin, ya'ni markazga intilma kuchdir.

Massasi m va tezligi ϑ bo'lgan q zaryad B induktsiyali magnit maydonga shunday uchib kirsinki, bunda $\vec{\vartheta}$ tezlik vektori B vektorga perpendikulyar bo'lsin.

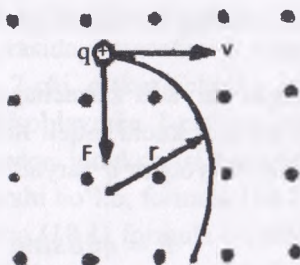
U holda $F_l = F_{m.n.}$:

$$qBv = \frac{m\vartheta^2}{r}$$

bo'ladi. Ushbu holda zaryad

$$r = \frac{m}{qB} \vartheta \quad (10.4)$$

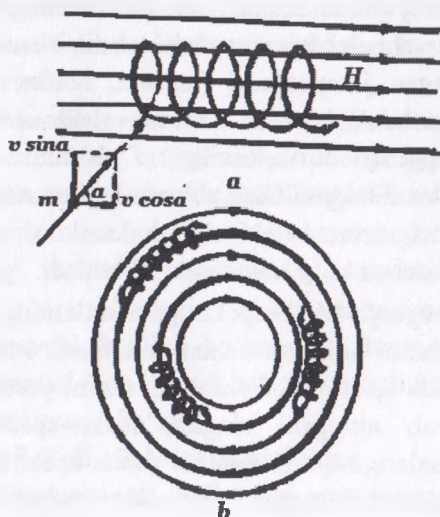
radiusli aylana bo'ylab harakat qiladi. (10.2- rasmda induktsiya chiziqlari o'quvchiga tomon yo'nalgan).



10.2-rasm. Harakatlanayotgan zarraga ta'sir qiluvchi kuchni aniqlash

Agar induktsiya chiziqlariga nisbatan tezlikning yo'nalishi 90° dan farq qiluvchi α burchak ostida bo'lsa, zaryad maydon induksiya chizig'i atrofida vintsimon traektoriya bo'ylab harakat qiladi (10.3), chunki ϑ vektorni $\vartheta_{\parallel}$ va $\vartheta_{\perp}$ tashkil etuvchilarga ajratish mumkin.

Ulardan biri $\vartheta_{\parallel}$ bo'ylama tashkil etuvchi induksiya chizig'i bo'ylab yo'nalgan, ikkinchisi $\vartheta_{\perp}$ tashkil etuvchi esa unga perpendikulyardir. Ikkinchi tashkil etuvchi r o'ramlar radiusini aniqlaydi, $\vartheta_{\parallel}$ bo'ylama tashkil etuvchisi esa o'zgarmaydi.



10.3-rasm. Zaryadning spiral simon harakati

Agar zaryad bir o'ramni T vaqt ichida bosib o'tsa, u induksiya chizig'i bo'ylab bu vaqt ichida $h = \vartheta_{\parallel} T$ masofaga siljiydi. $\vartheta_{\parallel} = \vartheta \cos \alpha$, $\vartheta_{\perp} = \vartheta \sin \alpha$, h esa vint chizig'i qadami ekanini ko'rish oson.

Zaryadlangan zarra bir jinsli bo'lmagan magnit maydonda harakatlanganda, Lorents kuchining kattaligi o'zgaradi va zarraning harakatlanish traektoriyasi juda murakkab bo'lishi mumkin.

§44. Bir jinsli magnit maydonida zaryadli zarralar harakati.

Agar zaryadli zarracha magnit maydonidan tashqari, kuchlabganlik vektori $\vec{E}$ ga teng bo'lgan elektr maydon ham ta'sir etsa, natijaviy kush Lorents va elektr kuchlarining vektor yig'indisidan iborat bo'ladi.

$$\vec{F} = F_L + F_e = q[\vec{\vartheta} \vec{B}] + q\vec{E}. \quad (10.5)$$

(10.5) ifoda Lorets formulasi deyiladi.

Zaryadlangan zarralarning elektr va magnit maydonlaridagi harakatiga asoslanib ishlaydigan qurilmalar:

1. **Elektron osillograf.** Elektron osillografning asosiy qismi uning elektron nur trubkasidir. Elektron nur amalda inersiyasizdir. Shuning uchun osillograf yordamida juda tez (sekundning o'n milliondan bir ulushlarida) o'tuvchi elektr jarayonlarni tekshirish mumkin. Shuningdek, elektrik bo'lmagan jarayonlarni (harorat, bosim, zichlik va shunga o'xshash jarayonlarni), dastlab tegishli elektr datchiklar yordamida elektr jarayonlarga aylantirib, ossillograf yordamida o'rganish mumkin va bu juda muhim. Elektron nur trubkasi elektron ossillografdan tashqari radiolokator, televizor, elektrom mikroskop, elektron-hisoblash mashinalari va boshqa ko'p asboblarda ishlatiladi.

2. **Mass-spektrograf.** Mass-spektrograf ionlarning (zaryadlari ma'lum bo'lgan) massalarini aniqlash uchun ishlatiladi. Mass-spektrograf ion nurini xuddi optik spektrograf yorug'lik nurini yorug'lik to'lqinlarining uzunligiga qarab ajratgani singari, mass-spektrograf ion nurini ionlarning massalariga qarab ajratadi (mass-spektrograf nomi shundan olingan). Mass-spektrograf yordamida birinchi bo'lib kimyoviy elementlarning izotoplari topilgan edi. Izotopning massalari va ularning tabiiy aralashmalarida izotoplarning prosent tarkibiga doir birinchi aniq o'lchashlar mass-spektrograf vositasida bajarilgan.

3. **Elektron mikroskop.** Elektr va magnit maydonlari yordamida zaryadlangan zarralarning traektoriyalariga turli-tuman shakllar berish mumkin. Masalan, shunday konfiguratsiyali maydon hosil qilish mumkinki, uning yordamida parallel elektron nurlarni bir nuqtaga yig'ish (fokuslash) yoki parallel nurlarni tarqaluvchi nurlarga aylantirish mumkin. Elektron nurlarni simmetrik og'dirish va fokuslash xossasiga ega bo'lgan elektr va magnit maydonlar elektron linzalar deyiladi (nurlarga aynan qanday maydon ta'sir qilishiga qarab elektrostatik, magnit yoki elektromagnit linzalar deb ataladi). Optik mikroskopda maksimal kattalashtirish imkoniyati 10^3 marta tartibida bo'lgan, holbuki elektron mikroskopning ajrata olish qobiliyati ya'ni ob'ektning bir-biridan yaqin joylashgan juda mayda detallarining alohida tasvirlarini bera olish qobiliyatiga bog'liqdir. Hozirgi zamon elektron mikroskoplarning maksimal kattalashtirishi 10^5 martaga etadi.

4. **Elektron mikroprojektor.** Elektron mikroprojektor linzasiz elektron-optik kattalashtirgichdan iboratdir. Elektron projektor 10^6 martaga yaqin kattalashtiradi. Uning yordamida projektor katodining sirtida adsorbsiyalangan ayrim molekullarning tasvirini olish mumkin. Shu bilan birga, ekranda molekulaning faqat umumiy konturiga emas, balki uning strukturasi ham (elektron qobiqlarning quyuqligi va siyrakligi ham) ko'rinadi.

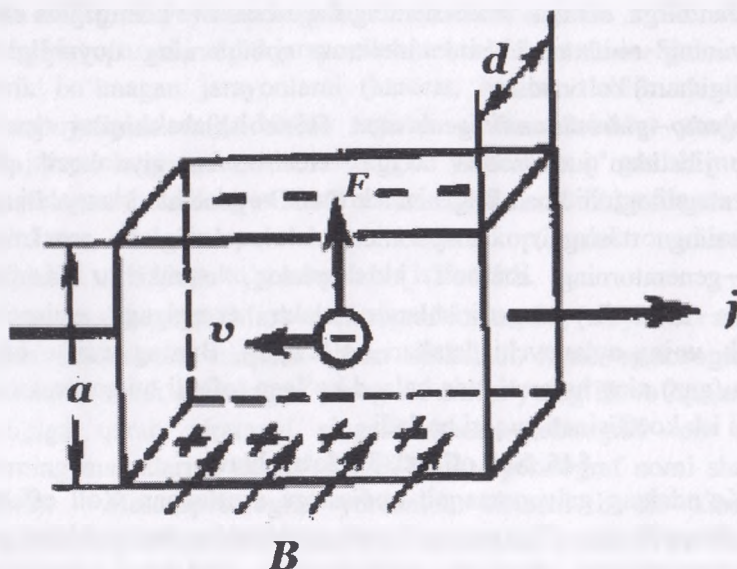
5. **Magnito-gidrodinamik generator.** Hozir ishlab chiqilayotgan va prinsip jihatidan juda sodda bo'lgan elektron energiya hosil qilish usuli—magnitogidrodinamik generator (MGD—generator) zaryadlangan zarralarning magnit maydonidagi harakatiga asoslangan. MGD—generatorning istiqboli juda porloq, chunki u issiqlikni bevosita—mexanik o'zgartirishlarsiz elektr energiyaga aylantiradi (demak, uning aylanuvchi detallari bo'lmaydi). Buning ustiga, ishchi modda (gaz) ning harorati juda baland bo'lgan tufayli bu generatorning foydali ish koeffitsienti yuqori bo'ladi

§45. Xoll effekti. Tezlatgichlar.

Ko'ndalang galvonomagnit hodisasiga asoslangan Xoll effektini qarab chiqaylik. Bu effektning mohiyati quyidagidan iborat: Metall yoki yarimo'tkazgichdan yasalgan parallelpipet shakildagi plastinkani magnit maydonga shunday joylashtiraylikki, bunda magnit maydon induktsiyasi $\vec{B}$ ning yo'nalishi, plastinkadan o'tayotgan tok zichligi $\vec{j}$ ning yo'nalishiga perpendikulyar bo'lsin. U holda zaryadlarga ta'sir etuvchi kuch, ya'ni Lorents kuchi $\vec{F}_l$ ning yo'nalishi $\vec{B}$ va $\vec{j}$ vektorlarning yo'nalishlariga perpendikulyar yo'nalgan bo'ladi.

Manfiy zaryadlangan zarrachalar (elektronlar) magnit maydon ta'siri ostida plastinkaning bir tomoniga, musbat zaryadlangan zarrachalar (masalan, yarim o'tkazgichlarda teshiklar) plastinkaning ikkinchi tomoniga tomon siljiydi. Natijada plastinkada potentsiallar farqi hosil bo'ladi. Bu potentsiallar farqiga Xoll potentsiallar farqi (U_x) deb ataladi. Xoll potentsiallar farqini topish uchun magnit induktsiyasi $\vec{B}$ bo'lgan magnit maydonda $\vec{v}$ tezlik bilan harakat qilayotgan q zaryadga ta'sir etuvchi Lorents kuchi $\vec{F}_l$ va magnit maydon ta'sirida zaryadlarning siljishi natijasida vujudga kelgan elektr maydonning q

zaryadga ta'sir etuvchi $\vec{F}_e$ elektrostatik kuchlarni tenglashishidan foydalanamiz, ya'ni $\vec{F}_l = \vec{F}_e$ bo'lganda shu o'kazgichda magnit maydoni ta'sirida zaryadlarning ko'chishi to'xtaydi.



10.4-rasm. Xoll effektini aniqlash chizmasi

Demak, $q \vartheta B = q E$; bunda biz ko'rayotgan hol uchun. $E = \vartheta B$, ekanini topamiz. Bu formulada elektronlar ϑ tezligining yo'nalishi $\vec{j}$ yo'nalishga qarama-qarshi yo'nalgan (kavakning ϑ tezligining yo'nalishi esa $\vec{j}$ yo'nalish bo'ylab yo'nalgan). Plastinka tomonlari orasidagi masofani d deb belgilasak, Xoll potensial farqi

$$U_d = Ed = \vartheta Bd \quad (10.6)$$

bo'ladi. Tok zichligi $j = qn\vartheta_d$ bo'lgani sababli (10.6) formulani

$$U_d = \frac{1}{qn} jBd \quad (10.7)$$

ko'rinishda yoza olamiz. Bu ifodadagi $\frac{1}{qn}$ ko'paytma Xoll doimiysi deb ataladi va uni R bilan belgilaymiz. U holda (10.7) formula:

$$U_d = RjBd \quad (10.8)$$

ko'rinishga ega bo'ladi. Agar Xoll effekti yarimo'tkazgich plastinkada kuzatilsa, Xoll doimiysi $R = \frac{A}{qn}$ ko'rinishga ega bo'ladi. $A = 1 \div 1,93$ qiymatga ega bo'lib, metallar uchun $A = 1$, yarimo'tkazgich materiallar uchun $A > 1$, A — materiallar kristall panjarasida elektronlarning sochilish mexanizmiga bog'liq bo'lgan koeffitsientdir. Metallar uchun Xoll koeffitsientining qiymati $10^{-3} \text{ cm}^3 / \text{C}$; yarimo'tkazgichlar uchun $\sim 10^5 \text{ cm}^3 / \text{C}$ tartibda bo'ladi.

Xoll effektidan foydalanib yarimo'tkazgichlarda tokni hosil qiluvchi elektronlar va kavaklarning konsentratsiyasini va elektr o'tkazuvchanligini aniqlash mumkin. ularning ishorasini ham aniqlash mumkin. Xoll effekti yordamida yarimo'tkazgichlar tok tashuvchilar konsentratsiyasi va elektr o'tkazuvchanligining haroratga bog'liqligini aniqlab ular to'g'risida muhim xulosalar chiqarishga asos bo'ladi. Xoll effektidan fan va texnikada, shu jumladan haroratni o'lchash texnikasida keng foydalaniladi.

Tezlatkichlar — elektr maydoni yordamida yuqori energiyali zaryadlangan zarralar (elektronlar, protonlar, atom yadrolari va boshqalar) olish uchun mo'ljallangan qurilmalar. Zarralar qurilmaning vakuum kamerasida harakatlanadi; ularning harakati (trayektoriyasi shakli)ni magnit maydoni (ba'zan, elektr maydoni) bilan boshkarib turiladi. Zarralarning trayektoriyasiga kura, tezlatkichlar siklik va chiziqli, tezlatuvchi elektr maydoni xarakteriga ko'ra, rezonans va norezonans turlarga bo'linadi. Siklik tezlatkichlar jumlasiga elektronlar tezlatkichlar (betatron, mikrotron, sinxrotron) va og'ir zarralar (protonlar va boshqalar) T.i (sinxrofazotron, fazotron, siklotron) kiradi. Yuqori voltli chizikli tezlatkichlar energiyasi 30 MeV bo'lgan jadal zarralar dastasini hosil qiladi. Eng yuqori (20 GeV) energiyali elektronlarni rezonans tezlatkichlar eng yuqori (500 GeV) energiyali protonlarni sinxrofazotronlar hosil qiladi. Uzbekistanda ionlar, protonlar va geliy ionlaridan tashkil topgan 209 MeV li U115M tezlatkichlar, shuningdek, 14 MeV li NG150 tez neytronli tezlatkich generator, 50 MeV li SB50 katta tokli betatron, tok kuchi 20 MkA va energiyasi 2 MeV li EG2 elektrostatik generator va tok kuchi 10 mkA, quvvati 22 MeV li MT22S mikrotron mavjud.

Tezlatkichlar hozirgi zamon fizikasining asosiy qurilmalaridan biri. Yuqori energiyali zarralar dastasidan elementar zarralarning tabiati va xossalarini tadqiq qilishda, atom yadrosi va qattiq jism fizikasida, defektoskopiya, bemorlarni nur bilan davolash va boshqa sohalarda foydalaniladi

Siklotron. Siklotron zaryadlangan zarralar (elektronlar, protonlar, deytוןlar, alfa—zarralar va boshqa zarralar) harakatini yorug'lik tezligiga yaqin katta tezliklargacha tezlatish uchun xizmat qiladi. Bunday zarralar atom yadrolarini tekshirish radioaktiv izotoplar olish va shunga o'xshashlarda foydalaniladi.

Sinxrofazotron. Sinxrofazotron zaryadlangan zarralarni tezlashtiruvchi eng qudratli tezlatgichdir. Unda zarralar spiral bo'ylab emas, balki doimiy radiusli aylana bo'ylab tezlatiladi. Buning uchun magnit maydonining kuchlanganligi va elektr maydon kuchlanishi davrini sinxron o'zgartirish zarur.

Betatron - elektronlarning induksion tezlatgichi. Oddiy transformatorga uxshab tokka ulanadi, ikkilamchi g'altak o'rni "teshik kulcha" shaklidagi vakuum kamerasi joylashgan. Vakuum kamerada elektronlar manbai—injektor o'rnatilgan. Vakuum kamerada injektordan chiqqan elektronlar aylana bo'ylab harakatlanganda elektr maydon ta'sirida impulsi ortadi. Betatronda elektronlar energiyasini 300 MeV gacha orttirish mumkin. Betatronda hosil qilingan tezlanishdan ko'pincha sinxrotronlarda elektronlar energiyasini 2—5 MeV gacha yetkazishda foydalaniladi. Sinxrotronlarda orbita radiusi tezlikka mutanosib o'zgarganidan kamera o'lchamlari ortiqcha kattalashmasligi uchun elektronlarni Betatron rejimida tezlatish maqsadga muvofiq. Betatron yordamida jismlar tarkibidagi elementlar tahlil qilinadi.

Mavzu yuzasidan testlar

1. Bir jinsli magnit maydonida joylashgan o'tkazgichdagi tok kuchi 2 marta oshiriladi. Maydonning shu o'tkazgichga ta'sir kuchi qanday o'zgardi:
a) O'zgarmadi; b) 2 marta kamaydi; c) 2 marta oshdi d) 4 marta oshdi
2. Magnit maydoni induksiyasi vektorining kattaligini, magnit maydoniga kiritilgan tokli o'tkazgichga ta'sir qiladigan kuchning kattaligiga teng deyish mumkinmi:

- a) Mumkin emas; b) Mumkin;
 c) Mumkin, agar 1A tok oqayotgan uzunligi 1m bo'lgan shu o'tkazgich maydonga perpendikulyar joylashgan bo'lsa
 d) Mumkin, agar 1A tok oqayotgan o'tkazgichning uzunligi 1 m bo'lsa

3. Lorens kuchi ifodasini ko'rsating?

A) $F = Bqg \sin \alpha$, B) $F = BIl \sin \alpha$, C) $F = ma$, D) $F = k \frac{k_1 \cdot k_2}{R^2}$

4. $dF = M_o I_o dl_o dH \sin \alpha$ - formula qaysi qonunni ifodalaydi?

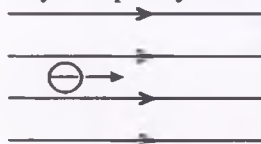
- A) Amper qonuni, B) Om qonunini, C) Joule - lenz qonuni,
 D) Nyuton qonuni

$$\Delta F_{12} = k \frac{I_1 I_2 \Delta l_1 \Delta l_2 \sin \alpha \cdot \sin \beta}{r_{12}^2}$$

5. formula qaysi qonunni ifodalaydi?

- A) Om qonuni, B) Kulon qonuni, C) Amper qonuni, D) Nyuton qonuni

6. Bir jinsli magnit maydoni yo'nalishi bo'ylab kirib kelgan elektronga maydon qanday ta'sir ko'rsatadi?



- A) Pastga buradi; B) Yuqoriga buradi;
 C) Aylana bo'ylab harakatlantiradi;
 D) Ta'sir ko'rsatmaydi.

7. Bir jinsli magnit maydonida joylashgan tokli ($I=2A$) ramkaga $S=0,2m^2$ ta'sir qiladigan, aylantiruvchi momentning maksimal qiymati $0,32 N \cdot m$ ga teng. Magnit maydonining induksiyasi nimaga teng

- A) 0,8 Tl; B) 0,6 Tl; C) 0,7 Tl; D) 0,5 Tl

8. Induksiyasi 10 mTl bo'lgan bir jinsli magnit maydoniga zaryadli zarracha $1,02 \cdot 10^8$ m/s tezlik bilan tik kirib kelib 5,8 cm radiusli aylana bo'ylab tekis harakat qiladi. Zarrachaning solishtirma zaryadini hisoblang:

- A) $1,76 \cdot 10^{11}$ C/kg; B) $1,66 \cdot 10^{11}$ C/kg; C) $1,66 \cdot 10^{-19}$ C; D) $3,2 \cdot 10^{-19}$ C.

Mavzu yuzasidan savollar

1. Magnit maydonining harakatdagi zaryadlangan zarrachaga ta'sirini qanday kuch vujudga keltiradi.
2. Lorents kuchining Amper kuchidan farqi nimada?
3. Lorents kuchi qanday xossalarga ega va uning yunalishi qanday qoida bilan aniqlanadi.
4. Zaryadlangan zarrachaning magnit maydonida harakati qonunlarining qo'llanishlariga misol keltiring.
5. Xoll effekti va uning vujudga kelishishining sababi. Xoll hodisasi yarim o'tkazgich, elektrolit, gaz, suyuqlikda ham hosil bo'ladimi?
6. Agar Xoll plastinkasi M dan tok kuchi o'rniga issiqlik oqimi hosil qilib, uni perpendikulyar magnit maydoniga joylashtirsak, uchinchi tekislikda yoki OZ yo'nalishda potentsiallar ayirmasi hosil bo'ladimi?
7. Elementar aylanma toklar haqidagi Amper gipotezasi.
8. Magnit hodisasi bilan elektr hodisalarini bog'liqligi haqidagi Ersted gipotezasini fizik mohiyati.
9. Lorens kuchi formulasini yozing.
10. Lorens kuchi yo'nalishi qanday aniqlanadi?

Vakuumdagi magnit maydon induksiya vektorining sirkulyasiyasi va oqimi.

§46. Vakuumdagi magnit maydon induksiya vektorining sirkulyasiyasi haqidagi teorema.

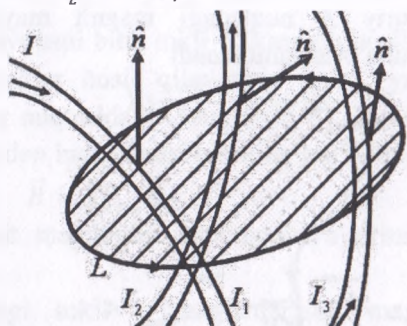
Oqim haqidagi teorema. Har qanday yopiq sirt S orqali o'tuvchi magnit induksiya oqimi nolga teng.

$$\oint_S \mathbf{B}_n dS = 0 \quad (11.1)$$

Bu shuni bildiradiki, magnit induksiya chiziqlari uzluksiz bo'lib, magnit maydonida zaryadlar oqimi to'planadigan nuqtalar yo'qdir. Shuning uchun ham aytadilarki, tabiatda magnit zaryadlari yo'q deb.

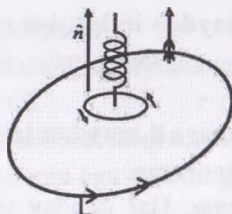
Sirkulyatsiya haqidagi teorema. Magnit induktsiyasining yopiq kontur L bo'yicha sirkulyatsiyasi shu konturni kesib o'tuvchi toklarning algebratik yig'indisiga teng (11.1-rasm).

$$\oint_L \mathbf{B}_\tau d\mathbf{l} = \mu_0 \sum I_i \quad (11.2)$$



11.2-rasm. Sirkulyatsiyasini hisoblash chizmasi

Toklarning ishorasi quyidagi shart bo'yicha aniqlanadi. *Sirt normaliga nisbatan o'tkir burchak tashkil qilgan toklar musbat ishora bilan, shu sirt normaliga nisbatan o'tmas burchak hosil qilgan toklar manfiy ishora bilan aniqlanadi.* Bu yerda yana shu narsa inobatga olinadiki, normalning va konturni o'rab olgan yo'nalishlar parma qoidasi bilan aniqlanadi: *parma dastasi qabul qilingan kontur yo'nalishi bo'yicha harakat qilayotgan bo'lsa, normal parmaning ilgarilanma harakati bo'yicha yo'nalgan bo'ladi* (11.3-rasm).

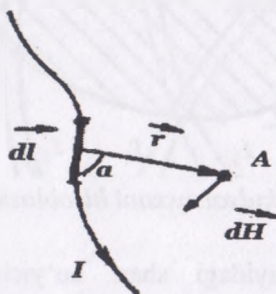


11.3-rasm. Parma qoidasini izohlovchi chizma

§47. Solenoid va toroidning magnet maydoni induksiyasi. Magnet maydon oqimi.

Har qanday shakldagi tokli o'tkazgich atrofida uyurmeli magnet maydon hosil bo'ladi. Bio-Savar-Laplaslar har xil shaklga ega bo'lgan tokli o'tkazgich atrofida hosil bo'lgan magnet maydonning kuchlanganlini yoki magnet maydon induksiyasini aniqlash qonunini topdilar. Masalan, uzunligi l bo'lgan I tokli o'tkazgichning dl elementar qismi tomonidan (11.4.-rasm), shu elementar qismidan r masofada joylashgan ixtiyoriy A nuqtadagi magnet maydon kuchlanganligi dH quyidagi formula bilan aniqlanadi

$$dH = \frac{1}{4\pi} \frac{I \sin \alpha}{r^2} dl. \quad (11.3)$$



11.4.-rasm. Bio-Savar-Laplaslar qonunini hisoblash chizmasi

Bu formulalarda α — $\vec{r}$ bilan $d\vec{l}$ orasidagi burchak. Magnet maydon kuchlanganligi H va magnet maydon induksiyasi B munosabat $B = \mu_0 \mu H$ ekanligini inobatga olib, B uchun

$$dB = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{I \sin \alpha}{r^2} dl \quad (11.4)$$

formulani yozish mumkin. Bu formuladai μ – muhitning magnit singdiruvchanligi μ_0 – esa magnit doimiysi.

(11.3) va (11.4) formulalar Bio–Savar–Laplas qonunining differensial ko‘rinishdagi tenglamalari bo‘lib, faqat o‘tkazgichning dl elementar qismi uchun to‘g‘ridir. O‘tkazgichning butun l uzunligi hosil qilayotgan magnit maydon kuchlanganli uchun Bio–Savar–Laplas qonunining integral qo‘rinishini quyidagicha ifodalash

$$H = \int_0^l dH = \frac{1}{4\pi} \int_0^l \frac{I \sin\alpha}{r^2} dl$$

mumkin. Magnit maydon induksiyasi uchun esa

$$B = \int_0^l dB = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \int_0^l \frac{I \sin\alpha}{r^2} dl. \quad (11.5)$$

Bio–Savar–Laplas qonunini turli shakildagi tokli o‘tkazgichlar hosil qilayotgan magnit maydon kuchlanganliklarini topishga tadbiriq qilish mumkin.

Agar magnit maydanni bitta tokli o‘tkazgich hosil qilmasdan, balki n ta tokli o‘tkazgichlar hosil qilayotgan bolsa, ya’ni ular magnit maydanlarining biror nuqtasidagi induksiyali $B_1, B_2, B_3, \dots, B_n$ bo‘lsa, umumiy magnit maydon induksiyasi ularning yig‘indisiga teng:

$$\vec{B} = \sum_{i=1}^n \vec{B}_i. \quad (11.6)$$

Bu prinsipga magnit maydonlar superpozitsiya prinsipi deyiladi. Bu yerda $i = 1, 2, 3, \dots$

Turli shakildagi tokli o‘tkazgichlarning magnit maydoninni Bio–Savar–Laplas qonunidan foydalanib hisoblashmi qarab chiqaylik. O‘tkazgichdan ma’lum masofada joylashgan nuqtadagi magnit maydon o‘tkazgichning shakliga ham bog‘liq bo‘ladi.

Agar o‘tkazgich cheksiz uzun va to‘g‘ri bo‘lsa, o‘tkazgichdan d – masofada hosil bo‘lgan magnit maydon kuchlanganligi va induksiyasi quydagi formulalar bilan ifodalanadi:

$$H = \frac{1}{2\pi d} I \quad \text{va} \quad B = \frac{\mu_0 \mu}{2\pi d} I. \quad (11.6)$$

Agar o‘tkazgich radiusi R bo‘lgan aylanadan iborat bo‘lsa, shu aylananing markazidagi magnit maydon kuchlaanganligi va induksiyasi quydagi qiymatlarga ega bo‘ladi:

$$H = \frac{I}{2R} \text{ va } B = \frac{\mu_0 \mu I}{2R} \quad (11.7)$$

Agar o'tkazgich solenoid shaklida, ya'ni bir necha n o'ramli silindrik g'altakdan iborat bo'lsa, shu solenoid o'qidagi magnit maydon kuchlanganligi va induksiyasi qiymati quyidagicha bo'ladi:

$$H = nl \text{ va } B = \mu I \quad (11.8)$$

Solenoid uchun keltirilgan (11.8) formulalar solenoidning o'rta qismi uchun yoki cheksiz uzun solenoid uchun ($L \gg R$) to'g'ri, chunki solenoidning chekka qismlariga magnit maydon bir jinsliligini yoqotadi.

(11.8) formuladan:

$$[H] = [I][n] = A \cdot m^{-1} = \frac{A}{m} \quad (11.9)$$

Solenoidning uzunlik birligidagi o'ramlar soni n umumiy o'ramlar soni N ning solenoid uzunligi l ga nisbati bilan o'lchanadi

$$(ya'ni: n = \frac{N}{l})$$

(11.9) ifodadan ko'rinib turibdiki, $\frac{A}{m}$ - bu XBT dagi magnit maydon kuchlanishining birligidir.

§48. Vakuumdagi magnit maydon uchun Gauss teoremasi. Bir jinsli magnit maydonidagi tokli ramka.

Aylanma tokning markazidagi nuqtada magnit maydon induksiyasi. Radiusi R ga teng bo'lgan aylana o'tkazgich bo'yicha I miqdordagi tok kuchi o'tayotgan bo'lsin. Uning markazidagi va undan r masofada joylashgan nuqtada induksiyaning sirkulyatsiya teoremasidan foydalanib topish mumkin. Sirkulyatsiya teoremasiga asosan quyidagini yozamiz:

$$\oint \vec{B} d\vec{l} = \int B dl \cos(\vec{B} d\vec{l}) = B \int dl = 2\pi R B \quad (11.10)$$

Ikkinchidan, Sirkulyatsiyaning umumiy teoremasiga asosan, (11.10) formulaning chap tomoni $\mu_0 I$ ga teng. Ko'rsatish mumkinki, bu ikki munosabatlardan

$$B = \frac{2I\mu_0}{4\pi R} \quad (11.11)$$

kelib chiqadi.

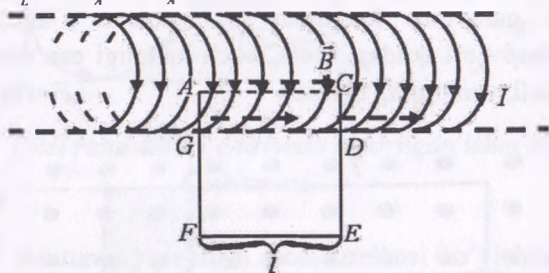
Cheksiz uzunlikdagi solenoidning maydoni. 11.5- rasmda real solenoid maydonining kuch chiziqlari keltirilgan. Agar solenoidni cheksiz uzunlashtirib borilsa, u vaqtda magnit induksiya chiziqlari

solenoid ichida «to'g'rilanib boradi», solenoid o'qiga parallel bo'lgan to'g'ri chiziq shakliga yaqinlashadi, solenoiddan tashqarida maydon nolga teng bo'ladi. Ana shunday cheksiz uzunlikdagi solenoidning ichki qismidagi magnit induksiyasini hisoblaymiz, Sirkulyatsiya teoremasini qo'llaymiz. Bu teoremadan L kontur o'rniga ACEF to'g'ri burchakli konturni olamiz, uning AC tomonlari uzunligi maydon izlanayotgan nuqtadan o'tadi va solenoid o'qiga parallel. Unga qarama-qarshi bo'lgan tomon EF solenoiddan tashqarida yotadi (11.5-rasm). Bu konturning barcha qismlarida, AC tomondan tashqari $\vec{B}$, ga teng, chunki DEFG sohada $\vec{B}_r=0$, a CD va GA sohalarga $\vec{B}$ vektor perpendikulyar. Shuning uchun $\vec{B}$ vektorning Sirkulyatsiyasi butun kontur bo'yicha AC kesma bo'yicha integralga keltiriladi:

$$\oint_L \vec{B}_r dl = \int_A^C \vec{B}_r dl \quad (11.12)$$

Vektor $\vec{B}$ AC to'g'ri chiziq bo'yicha yo'nalgan, simmetriya tasavvuriga ko'ra uning barcha nuqtalarida bir xildir, u vaqtda $\vec{B}_r = \vec{B} = \text{const}$. Sirkulyatsiya uchun ifoda quyidagicha bo'ladi:

$$\oint_L \vec{B}_r dl = \int_A^B \vec{B}_r dl = \int_A^C \vec{B}_r dl = Bl \quad (11.13)$$



11.5-rasm. Solenoid ichki qismidagi magnit induksiyasini hisoblash chizmasi

Rasmdan ko'rinadiki, qarayotgan kontur yuzasini nl o'ram kesib o'tadi, bu yerda n -solenoid uzunligi biriligidagi o'ramlar soni. Demak, bu konturni kesib o'tuvchi yig'indi tok Inl ga teng, bu yerda I - solenoiddagi tok kuchi. Sirkulyatsiya teoremasiga asosan:

$$Bl = \mu_0 Inl \quad (11.14)$$

bu yerdan $B = \mu_0 In$ hosil bo'ladi.

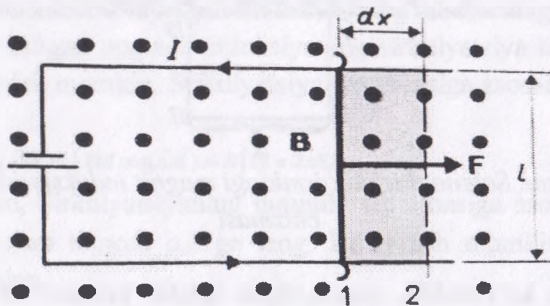
Formuladan ko‘rinadiki, magnit induksiya nuqtaning holatiga bog‘liq emas, solenoid ichida maydon bir jinslidir. Bunday maydon uzunligi ko‘ndalang kesimidan juda katta bo‘lgan real solenoidda ro‘y beradi. Solenoidning tashqarisida maydon bo‘lmaydi. Ichida bir jinsli maydon bo‘lgan uzun solenoid elektrostatikadagi yassi kondensatorga mos keladi.

Demak, to‘la tok qonuni va Sirkulyatsiya teoremasi simmetriyaga ega bo‘lgan tokli o‘tkazgichlarning magnit maydonlarini hisoblash mumkinligini ko‘rsatadi. Bu jihatdan u elektrostatikadagi Gauss teoremasiga aynan o‘xshashdir.

§49. Tokli o‘tkazgich va konturni magnit maydonida ko‘chirishdagi bajarilgan ish.

Magnit maydonida harakatlanayotgan tokli o‘tkazgichga Amper qonuni bilan aniqlanadigan kuch ta‘sir qiladi. Agar o‘tkazgichning bir uchi mahkamlanmagan bo‘lsa, u holda Amper kuchi ta‘sirida harakatlanuvchi qism magnit maydonida siljiydi. Demak, magnit maydoni tokli o‘tkazgichni siljitish uchun ish bajaradi. Bu ishni aniqlash uchun magnit maydoniga joylashtirilgan uzunligi l bo‘lgan I tokli o‘tkazgichni qaraymiz. Rasmdan ko‘rinishicha, kuch va tokning yo‘nalishi chap qo‘l qoidasi bilan, kuch kattaligi esa Amper qonuniga asosan topiladi, yani uning qiymati

$$F = IBl$$



11.6-rasm. Magnit maydonida tokli o‘tkazgichga ta‘sir etuvchi kuchni aniqlash

Bu kuch ta‘sirida o‘tkazgich 1 holatdan 2 holatga, yani dx masofaga siljiydi.

Bu holda magnet maydon tomonidan bajarilgan ish quyidagiga teng bo'ladi

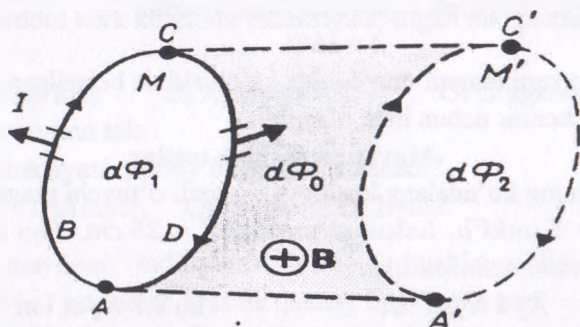
$$dA = Fdx = IBldx = IBdS = Id\Phi$$

bunda $Idx = dS$ –bu magnet maydonida harakatlangan o'tkazgich chizgan yuza, $BdS = d\Phi$ – shu maydonni kesib o'tuvchi magnet induksiya oqimi vektori. U holda

$$dA = Id\Phi \quad (11.15)$$

yani tokli o'tkazgichni magnet maydonida bajarilgan ish tok kuchining magnet induksiya oqimi kopaytmasiga teng bo'ladi. Oxirgi formula **B** vektorning har qanday yo'nalishi uchun o'rinalidir.

Endi I doimiy tok oqayotgan yopik konturni magnet maydonida ko'chirishda bajarilgan ishni tipamiz. Faraz qilaylik, yopiq kontur **M** rasm tekisligida **M'** holatga siljisin



11.7-rasm. Tokli ramkani ko'chirishda bajarilgan ishni hisoblash chizmasi

Tokning konturda yo'nalishi (soat strelkasi bo'yicha) va magnet maydon (rasm tekisligiga perpendikulyar) bo'lsin. **M** konturni xayolan ikkita ulangan ABC va CDA konturlarga ajratamiz. Konturni ko'chirishda Amper kuchining bajarilgan dA ishi, ikkala ABC (dA_1) va CDA (dA_2) konturlarni ko'chirishda bajarilgan ishlarning algebraic yig'indisiga teng bo'ladi, yani

$$dA = dA_1 = dA_2 \quad (11.16)$$

CDA qismga qo'yilgan kuch siljish yo'nalishi bilan o'tkir burchak hosil qiladi, shu sababli bajarilgan ish $dA_2 > 0$ bo'ladi. (11.16) ga binoan bajarilgan ish konturdagi I tok kuchining CDA ni kesib o'tuvchi oqimga

ko'paytmasiga teng bo'ladi. CDA o'tkazgichni kesib o'tuvchi $d\Phi_0$ oqim bilan kesib o'tsa, $d\Phi_2$ esa uning oxirgi holatiga to'g'ri keladi. Demak,

$$dA_2 = I(d\Phi_0 + d\Phi_2) \quad (11.17)$$

ABC qismga qo'yilgan kuch siljish yo'nalishi bilan o'tmas burchak hosil qiladi, shu sababli bajarilgan ish $dA_2 < 0$ bo'ladi. ABC o'tkazgichni kesib o'tuvchi $d\Phi_0$ oqim bilan kesib o'tsa, $d\Phi_1$ esa uning boshlang'ich holatiga to'g'ri keladi.

$$\text{Demak,} \quad dA_1 = -I(d\Phi_0 + d\Phi_1) \quad (11.18)$$

(11.17) va (11.18) ni (11.16) ga qo'yib elementar ishni topamiz.

$$dA = I(d\Phi_2 - d\Phi_1)$$

$(d\Phi_2 - d\Phi_1) = d\Phi$ magnit oqimining o'zgarishi ekanini etiborga olsak,

$$dA = Id\Phi \quad (11.19)$$

ifodani hosil qilamiz. Oxirgi ifidani integrallab tokli ramkani magnit maydonida ko'chirishda bajarilgan ishni topamiz

$$A = I\Delta\Phi \quad (11.20)$$

Bu tokli ramkani magnit maydonida ko'chirishda bajarilgan ish bo'lib har qanday kontur uchun ham o'rinalidir.

Mavzu yuzasidan testlar

1. Salenoidning ko'ndalang kesim yuzi orqali o'tuvchi magnit induksiya oqimi $\Phi = 5 \text{ mkVb}$. Solenoid uzunligi $l = 25 \text{ cm}$. Shu solenoidning P_m magnit momentini aniqlang.

A) $1 \text{ N} / \text{A} \cdot \text{m}$

B) $0,7 \text{ N} / \text{A} \cdot \text{m}$

C) $2 \text{ N} / \text{A} \cdot \text{m}$

D) $0,1 \text{ N} / \text{A} \cdot \text{m}$

2. Tomonlari 60 cm ga teng kvadrat shaklidagi o'tkazgich orqali kuchi 3 A bo'lgan o'zgarmasi tok oqmoqda. Kvadrat markazida magnit maydonining induksiyasini aniqlang.

A) $1,41 \text{ mkTl}$

B) $1,31 \text{ mkTl}$

C) $1,51 \text{ mkTl}$

D) $1,61 \text{ mkTl}$

3. Magnit maydonida ϑ tezlik bilan harakatlanayotgan q zaryadli zarrachaga ta'sir qiluvchi Lorents kuchini aniqlang

A) $F = q\vartheta Bsina$

B) $F = q\vartheta^2 Bsina$

C) $F = q\vartheta lsina$

D) $F = q\vartheta Hsina$

4. Radiusi 10 sm bo'lgan ingichka simli halqi orqali 10 A tok oqmoqda. Halqa markazidan 15 sm masofadagi nuqtada magnit induksiyasini aniqlang.

5. 0,5 kV potentsiallar ayirmasida tezashtirilgan proton induksiya 0,1 Tl bo'lgan bir jinsli magnit maydoniga uchib kirib unda aylanma harakat qiladi. Shu aylana radiusini aniqlang.

6. Zaryadlangan zarrachalar oqimi $E = 10 \text{ kV/m}$ va $B = 0,2 \text{ Tl}$ ko'ndalang bir jinsli elektr va magnit maydonlarida qanday tezlikda o'tganda og'maydi.

- A) 50 km /s B) 40 km /s C) 30 km /s D) 75 km /s

7. $\Phi_E = \sum_{\text{inuc}} E_1 \cdot \Delta A = \frac{Q}{\epsilon_0}$ formula nimani ifodalaydi.

A) Ostrogradskiy – Gauss teoremasi, B) Bir jinsli qism uchun Om qonuni

C) Faradeyning elektroliz qonuni,

D) Faradeyning elektromagnit induksiya qonuni

8. Magnit maydoni berk konturda induksiyalaydigan tok qanday nomlanadi

- A) Induksion tok, B) Aylanma tok, C) O'zgaras tok,
D) O'zgaruvchan tok

9. Magnit induksiya qanday birlikda o'lchanadi?

- A) Tesla, B) Amper, C) Veber, D) Lyuks

10. Magnit maydoni induksiya ($\vec{B}$), kuchlanganligi ($\vec{H}$) va magnitlanish ($\vec{I}$) vektorlari orasida qanday bog'lanish bor?

- A) $\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + \vec{I})$; B) $\vec{B} = \mu_0\mu\vec{H}$; C) $\vec{I} = \chi\vec{H}$; D) $\vec{H} = \mu_0(\vec{B} + \vec{I})$

Mavzu yuzasidan savollar

1. Magnit induksiya oqimini ta'riflang va uni ifodalovchi formulasini hamda o'lchov birligini aniqlang.

2. Magnit maydon induksiya sirkulyasasi nimani anglatadi.

3. Salenoid magnit maydoni induksiya

4. Toroid magnit maydoni induksiya

5. Vakumdagi magnit maydon uchun Gauss teoremasini tushuntiring

6. Tokli o'tkazgichni magnit maydonida ko'chirishda bajarilgan ish

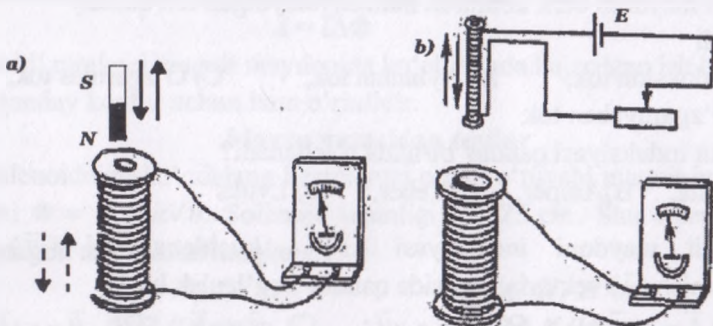
7. Konturni magnit maydonida ko'chirishda bajarilgan ish

8. Bir jinsli magnit maydonidagi tikli ramkaga ta'sir etuvchi kuch

Elektromagnit induksiya hodisasi.

§50. Faradey tajribalari. Faradeyning elektromagnit induksiya qonuni. Lens qoidasi.

1831 yilda Faradey qattiq kontur magnit maydonida ilgarilanma harakatlanganda va burilganda hamda qo'zg'almas kontur vaqt davomida o'zgaruvchan magnit maydonida turganda ham konturda tok hosil bo'lishini aniqladi. Magnit maydon oqimining vaqt davomida o'zgarishi berk konturda hosil qilgan toki induksiya toki deyiladi. Magnit maydon oqimining o'zgarishi vositasida induksiya tokini hosil qilish esa elektronmagnit induksiya hodissi deyiladi. Induksiya tokini hosil qiluvchi elektr yurituvchi kuch induksiya elektr yurituvchi kuch deb ataladi.



12.1-rasm. Elektronmagnit induksiya hodissini kuzatish

Berk kontur bilan chegaralangan yuza orqali o'tuvchi magnit maydon induksiya oqimi o'zgargan barcha hollarda berk konturda induksiya tokini hosil qiladi.

Induksiya elektr yurituvchi kuchning kattaligi magnit maydon induksiya oqimining o'zgarish tezligiga to'g'ri proporsionaldir

$$\mathcal{E} \sim \frac{d\Phi}{dt} \quad (12.1)$$

bu formula Faradey qonunini ifodalaydi. Bu yerda Φ – magnit maydon induksiya oqimi, t – vaqt, $\frac{d\Phi}{dt}$ – magnit maydon induksiya oqimining o'zgarish tezligi.

1833 yilda Lens induksiya tokining yo'nalishini aniqlaydigan umumiy qoidani aniqladi, bu qoida Lens qoidasi deb ataladi.

Yopiq konturda induksiya toki shunday yo'nalishda hosil bo'ladiki, u o'zining magnit maydoni bilan uni hosil qiluvchi magnit maydonning o'zgarishiga qarshilik ko'rsatadi. Lens qoidasiga ko'ra, induksiya EYuK. uni yuzaga keltiruvchi magnit oqimining o'zgarishiga teskari ta'sir qiladi. Induksiya EYuK. ning formulssi (12.1) ni bu shartga muvofiqlashtirish uchun uning o'ng tomonidagi ifodaning teskari ishorasini olish kerak. Bu holda elektromagnit induksiysning Faradey va Lens qonunlarini birlashtiruvchi asosiy qonun quyidagicha ta'riflanadi.

Yopiq konturda hosil bo'lgan induksiya EYuK. kontur chegaralagan yuza orqali o'tayotgan magnit induksiya oqimi o'zgarish tezligining teskari ishorasiga teng.

$$\mathcal{E} = - \frac{d\Phi}{dt}. \quad (12.2)$$

Agar yopiq kontur bitta emas, ketma-ket ulangan n ta bir xil cho'lg'amlardan tashkil topgan bo'lsa, unda hosil bo'lgan umumiy induksiya EYuK. ketma-ket ulangan tok manbalari singari, bitta cho'lg'amning EYuK. dan n marta katta bo'ladi:

$$\mathcal{E} = -n \frac{d\Phi}{dt}. \quad (12.3)$$

§51. O'zinduksiya hodisasi. Induktivlik. Fuko toklari.

O'tkazgich bilan chegaralangan yuza orqali o'tayotgan magnit induksiya oqimi o'zgargan barcha hollarda elektromagnit induksiya hodisasi kuzatiladi. Agar biror yopiq konturdan o'zgaruvchan tok o'tsa, u hosil qilgan magnit maydon ham o'zgaruvchan bo'lib, kontur bilan chegaralangan yuza orqali o'tayotgan magnit induksiya oqimi ham o'zgaruvchan bo'ladi. Natijada, magnit induksiya oqimining o'zgarishi konturda induksiya elektr yurituvchi kuchni hosil qiladi. Bu hodisaga o'zinduksiya hodisasi deyiladi. Biror konturda o'tayotgan elektr toki hosil qilgan magnit induksiya EYuK. ga induksiya elektr yurituvchi kuch deyiladi.

O'zinduksiya elektr yurituvchi kuch $\mathcal{E}_{oz}$ Faradey elektromagnit induksiya konuniga asosan quyidagicha yozish mumkin:

$$\mathcal{E}_{o'z} = - \frac{d\Phi}{dt}. \quad (12.2)$$

Ikkinchi tomondan, magnit induksiya oqimi Φ o'tkazgichdan oqayotgan tok kuchi I ga proporsionaldir:

$$\Phi = LI, \quad (12.4)$$

bunda L – proporsionallik koeffisienti bo'lib, unga konturning *induktivligi* yoki induksiya koeffisienti deyiladi. Kontur induktivligi (12.4) dan quyidagiga teng:

$$L = \frac{\Phi}{I}. \quad (12.5)$$

O'zinduksiya magnit oqimi Φ ning ifodasini (12.4) dan $\mathcal{E}_{o'z}$ ning (12.2) formulasiga qo'yilsa, quyidagi hosil bo'ladi:

$$\mathcal{E}_{o'z} = -L \frac{dI}{dt}. \quad (12.6)$$

Bu formula o'zinduksiya hodisasining ifodasi bo'lib, u quyidagicha ta'riflanadi: Konturda hosil bo'lgan o'zinduksiya elektr yurituvchi kuch o'tkazgichdan o'tayotgan tok o'zgarish tezligining teskari ishorali ifodasiga proporsionaldir.

L – ning birligi Genri (Gn). $Gn = \frac{V \cdot s}{A}$ ga teng.

$1Gn$ deb tokning kuchi har sekunda $1A$ ga o'zgarganda $1V$ o'zinduksiya elektr yurituvchi kuch hosil bo'lgan konturning induktivligiga aytiladi. Konturning induktivligi uning shakliga, o'lchamligi va muhitning magnit singdiruvchanligiga bog'lik bo'lib, quyidagiga teng:

$$L = \mu_0 \mu n^2 V, \quad (12.6)$$

bunga $n = \frac{N}{l}$ – g'altakning uzunlik l birligiga mos kelgan N o'ramlar soni, $V = ls$ – g'altak (solenoid) ning hajmi.

§52. Elektr zanjirini ulash va uzishdagi ekstratoklar.

O'tkazuvchan konturda tokning har qanday o'zgarishida o'zinduksiya EYuKi paydo bo'ladi va natijada konturda qo'shimcha toklar paydo bo'ladi. Ularga o'zinduksiya ekstratoklari deyiladi. Lens qoidasiga binoan ekstratoklar har doim shunday yo'naladiki u konturdagi asosiy tokning o'zgarishiga to'sqinlik qiladi, yani o'zini hosil qilayotgan tokga qarama-qarshi yo'nalgan bo'ladi. Zanjirdagi tok manbaini uzganda ekstratok xuddi kamayoyotgan tok yo'nalishi bilan bir xilda bo'ladi.

Demak zanjirda induktivlikning bo'lishi tokning kamayishi yoki yo'qolishiga to'sqinlik qiladi. EYuK, resistor, induktiv g'altak bo'lgan zanjirni qaraymiz. Tashqi EYuK tufayli zanjirdan doimiy tok oqadi, yani

$$I = \frac{\mathcal{E}_{o/z}}{R} \quad (12.7)$$

$t=0$ vaqt momentida tok manbaini uzamiz. Bu holda L g'altakdagi tok kamaya boshlaydi, bu esa g'altakda o'zinduksiya EYuKning hosil bo'lishiga sabab bo'ladi. Lens qoidasiga binoan $\mathcal{E}_{o/z} = -L \frac{dI}{dt}$

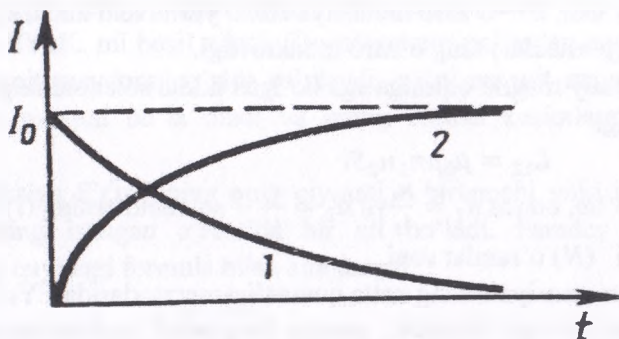
Vaqtning ixtiyoriy momentida zanjirdagi tok Om qonuni orqali ifodalanadi, yani

$$IR = -L \frac{dI}{dt} \quad (12.8)$$

Bundagi o'zgaruvchilarni ajratib uni integrallasak quyidagi ifoda hosil bo'ladi

$$\ln(I/I_0) = -Rt/L \text{ yoki } I = I_0 e^{-t/\tau} \quad (12.9)$$

Bunda $\tau = L/R$ -relaksasiya vaqti deyiladi.



12.2-rasm. Zanjirni ulash va uzishdagi ekstratoklar

Shunday qilib zanjirni ulashda eksponensial qonun bo'yicha o'zgaruvchi ekstratoklar yuzaga keladi va u zanjirdagi tokning birdaniga nolga tushushiga qarshilik ko'rsatadi.

Zanjirni yoqishda tashqi manba EYuKidan tashqari o'zinduksiya EYuKi hosil bo'ladi va u tokning birdaniga maksimumga erishishiga qarshilik qiladi. Om qonuniga binoan $IR = \mathcal{E} - L \frac{dI}{dt}$

$t=0$ vaqt momentida tok $I=0$ bo'ladi, bu holda integrallash tufayli tok uchun quyidagi formulani hosil qilamiz

$$I = I_0(1 - e^{-t/\tau}) \quad (12.10)$$

Shunday qilib zanjirga EYuK manbai ulanganda tok (12.10) ifoda bilan aniqlanuvchi qonunga ko'ra o'zgaradi va u rasmdagi 2 chiziq bo'yicha yuz beradi. Demak zanjirda g'altak ulangan bo'lsa ekstratoklarni hisobga olish zarur, chunki uning qiymati juda katta bo'lishi mumkin va u asboblarni ishdan chiqaradi.

§53. O'zaro induksiya. Transformatorlar.

O'zaro induksiya hodisasi. Konturdagi tokning o'zgarishida boshqa konturda induksiya tok hosil bo'lishiga *o'zaro induksiya* dab ataladi.

Magnit maydon induksiya oqimini qo'shni kontur (solenoid) dagi tok kuchini o'zgartirish (o'zaro induksiya hodisasi) orqali ham o'zgartirishi mumkin. Bunday induksiyalangan *E Yu K.* quyidagi

$$\mathcal{E} = -L_{12} \frac{dI}{dt} \quad (12.11)$$

ga teng bo'ladi, $\mathcal{E}$ – o'zaro induksiya elektr yurituvchi kuch, L_{12} – konturlar (g'altaklar) ning o'zaro induktivligi.

Umumiy magnit oqimiga ega bo'lgan ikkita solenoidning o'zaro induktivligi

$$L_{12} = \mu_0 \mu n_1 n_2 S l \quad (12.12)$$

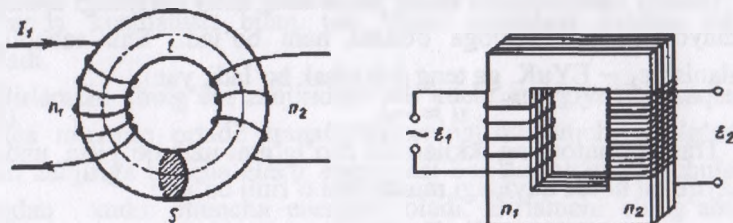
ga teng bo'lib, bunda $n_1 = \frac{N_1}{l_1}$ va $n_2 = \frac{N_2}{l_2}$ – solenoidlarning (l) uzunlik birligidagi (N) o'ramlar soni.

Elektr stansiyalarning katta quvvatli generatorlarida EYuK., odatda ancha katta bo'ladi. Holbuki, amalda ko'pincha kuchlanishning uncha katta bo'lmashligi talab etiladi. O'zgaruvchan tokni deyarli energiya yo'qotmasdan, kuchlanishni bir necha martaba o'rttirib yoki kamaytirib o'zgartirish transformatorlar yurdamida amalga oshiriladi.

Rus olimi P. N. Yablochkov o'zi ixtiro qilgan, o'sha vaqtda yorug'likning yangi manbai hisoblangan "elektr shamlarni" ta'minlash uchun 1878 yilda transformatorlardan birinchi bo'lib foydalangan. I. F. Usagin P. N. Yablochkovning g'oyalarini rivojlantirib, takomillashtirilgan transformatorlar konstruksiyalarini ishlab chiqdi.

Transformator bekr temir o'zakdan va unga kiydirilgan sim chulg'amli ikkita (yoki undan ortiq) g'altakdan iborat. Chulg'amlardan

biri o'zgaruvchan kuchlanish manbaiga ulanadi. Bu chulg'am birlamchi chulg'am deb ataladi. Ikkinchi chulg'amga elektr energiyasini iste'mol qiluvchi asbob va qurilmalar ulanadi. Bu chulg'am ikkilamchi chulg'am deb ataladi. Ikki chulg'amli transformatorning qabul qilingan shartli belgisi va uning tuzilish sxemasi 12.3-rasmda ko'rsatilgan.



12.3-rasm. Transformatorning tuzilishi

Transformatorning ishlashi elektromagnit induksiya hodisasiga asoslangan. Birlamchi chulg'am orqali o'zgaruvchan tok o'tayotganda o'zakda o'zgaruvchan magnit oqimi yuzaga keladi, u har bir chulg'amda induksiya EYuK. ini hosil qiladi. Transformator po'latdan tayyorlangan o'zak magnit maydonni o'zida to'playdi, ya'ni magnit maydon o'zak ichidagina mavjud bo'la oladi va uning barcha kesimlarida bir xil bo'ladi.

Induksiya EYuK.ining oniy qiymati e birlamchi yoki ikkilamchi chulg'amning istalgan o'ramida bir xil bo'ladi. Faradey qonuniga muvofiq u quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$\varepsilon = - \frac{d\Phi}{dt}, \quad (12.13)$$

bu erda $\frac{d\Phi}{dt}$ — magnit induksiyasi oqimning vaqt bo'yicha hosilasi. Agar $\Phi = \Phi_m \cos \omega t$ bo'lsa,

$$\frac{d\Phi}{dt} = -\omega \Phi_m \sin \omega t, \quad (12.14)$$

bo'ladi. Binobarin, $e = \omega \Phi_m \sin \omega t$,
yoki

$$\varepsilon = \varepsilon_m \sin \omega t, \quad (12.15)$$

bu erda $\varepsilon_m = \omega \Phi_m$ — bitta o'ramdagi EYuK. ning amplitudasi.

O'ramlari soni n_1 bo'lgan birlamchi chulg'amdagi to'liq induksiya EYuK. $\varepsilon_1 = n_1 e$ ga teng. Ikkilamchi chulg'amdagi o'ramlar to'liq

EYuK. esa $\varepsilon_2 = n_2 e$ (bu yerda n_2 ikkinchi cho'lg'amdagi o'ramlar soni). Bundan

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (12.16)$$

kelib chiqadi.

Odatda transformator chulg'amlarining aktiv qarshiligi uncha katta bo'lmaydi va uni hisobga olmasa ham bo'ladi. Shu sababli, u – kuchlanish ε_1 – EYuK. ga teng deb olsak bo'ladi, yani:

$$u \approx -\varepsilon_1 \quad (12.17)$$

Transformatorning ikkilamchi cho'lg'ami uzib qo'yilsa, undan tok o'tmaydi, bu holda quyidagi munosabat o'rinli bo'ladi:

$$u_2 = -\varepsilon_2. \quad (12.18)$$

ε_1 va ε_2 EYuK.larning oniy qiymatlari bir fazada (sinfaz ravishda) o'zgaradi (ayni bir paytda eng katta qiymatga erishadi va ayni bir paytda nolga teng bo'ladi), shu sababli ularning (12.16) formuladagi nisbatini shu EYuK. larning ε_1 va ε_2 ta'sir etuvchi qiymatlarining nisbati bilan yoki (12.17) va (12.18) tengliklarni hisobga olib, U_1 va U_2 kuchlanishlarning ta'sir etuvchi qiymatlari nisbati bilan almashtirish mumkin:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{n_1}{n_2} = K. \quad (12.19)$$

K kattalik transformatorning *transformasiyalash koefitsienti* deb ataladi. Agar $K > 1$ bo'lsa, transformator pasaytiruvchi, $K < 1$ bo'lsa, kuchaytiruvchi bo'ladi.

Ikkilamchi chulg'am zanjirdan uzilganda birlamchi chulg'amdagi tok kuchi fazasi bilan bu chulg'amga berilgan kuchlanish fazasi o'rtasidagi siljish $\frac{\pi}{2}$ ga yaqin bo'ladi. Shu sababli birlamchi chulg'amining aktiv qarshiligi kam bo'lgan transformator tarmoqdan deyarli energiya olmaydi.

Ikkilamchi chulg'am uchlariga elektr energiyasini iste'mol qiladigan zanjir ulansa yoki boshqacha aytganda, transformatorga nagruzka berilsa, ikkilamchi tok nolga teng bo'lmaydi. Unda paydo bo'lgan tok o'zakda o'zining o'zgaruvchan magnit oqimini hosil qiladi, bu oqim Lens qonuniga muvofiq o'zakdagi magnit oqimining o'zgarishini kamaytirishi kerak. Ammo natijalovchi magnit oqimi tebranishlari amplitudasining kamayishi, o'z navbatida, birlamchi chulg'amdagi

induksiya EYuK. ini kamaytirishi kerak. Lekin bunday bo'lishi mumkin emas, chunki $|u_1| = |\varepsilon_1|$. Shu sababli ikkilamchi chulg'amning zanjiri ulanganda birlamchi chulg'amdagi tok kuchi o'z-o'zidan ortadi. Uning amplitudasi kattalashib, natijalovchi magnit oqimi tebranishlarining avvalgi amplitudasini tiklaydi. Shu bilan bir vaqtda birlamchi chulg'amda kuchlanish bilan tok kuchi orasidagi fazalar siljishi kamayadi.

Birlamchi chulg'am zanjiridagi tok kuchi energiyaning saqlanish qonuniga muvofiq ortadi: transformatorning ikkilamchi chulg'amiga ulangan zanjiriga qancha elektr energiyasi berilsa, birlamchi chulg'am tarmoqdan xuddi shuncha energiya oladi. Birlamchi chulg'amdagi quvvati taqriban ikkilamchi chulg'amdagi quvvatga teng bo'lishi kerak:

$$U_1 I_1 \approx U_2 I_2. \quad (12.20)$$

Bundan,

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{I_2}{I_1} \quad (12.21)$$

kelib chiqadi.

Demak, transformator yordamida kuchlanish necha marta ortirilsa, tok kuchi shuncha marta kamayadi (va aksincha).

Hozirgi zamon katta quvvatli transformatorlarda energiyaning barcha isroflari $2 \div 3 \%$ dan oshmaydi.

§54. Magnit maydon energiyasi va uning zichligi.

Elektr toki o'tayotgan o'tkazgich har doim magnit maydoni bilan o'ralgan bo'lib, magnit maydoni tok paydo bo'lishi bilan paydo bo'lib, tok to'xtashi bilan yo'qoladi. Magnit maydoni xuddi elektr maydoni kabi energiyani tashuvchi bo'lib xizmat qiladi. Tabiiyki, magnit maydon energiyasi tok tomonidan bu maydonni hosil qilish uchun sarflanadigan ishga teng bo'ladi.

Induktivligi L bo'lgan konturdan I tok oqayotgan holni qaraylik. Bu kontur orqali $\Phi = LI$ magnit oqimi o'tayotgan bo'lsin. Tok qiymati dI ga o'zgarganda magnit oqimi $d\Phi = LdI$ ga o'zgaradi. Ammo magnit oqimini $d\Phi$ ga o'zgargartirish uchun $dA = Id\Phi = LI dI$ ish bajarish zarur. U holda Φ magnit oqimini hosil qilish uchun bajarilishi zarur bo'lgan ish quyidagiga teng bo'ladi:

$$A = \int_0^l LI \, dl = \frac{LI^2}{2}. \quad (12.22)$$

Demak, kontur tomonidan hosil qilingan magnit maydon energiyasi

$$W = \frac{LI^2}{2} \quad (12.23)$$

o'zgaruvchan magnit maydonlarni tekshirish, ayniqsa elektromagnit to'qlinlarning tarqalishini o'rganish magnit maydoni fazoda mavjud bo'lishini isbot qiladi. Bu esa maydon nazariyasi haqidagi tushunchalarga mos keladi.

Magnit maydon energiyasini maydonni xarakterlovchi atrof muhitdagi kattaliklar funksiyasi orqali ifodalash mumkin. Buning uchun xususiy holni, ya'ni uzun solenoid ichidagi bir jinsli maydonni qaraymiz. (12.23) dan quyidagini olamiz:

$$W = \frac{1}{2} \mu \mu_0 \frac{N^2 I^2}{l} S \quad (12.24)$$

$$I = \frac{B \cdot l}{\mu \mu_0 N} \quad (12.25)$$

va

$$B = \mu \mu_0 H \quad (12.26)$$

bo'lgani uchun

$$W = \frac{B^2}{2\mu\mu_0} V = \frac{B \cdot H}{2} V. \quad (12.27)$$

Bunda $Sl = V$ – solenoid hajmi.

Solenoid magnit maydoni bir jinsli va uning ichida joylashgan, shu sababli energiya solenoid hajmida to'plangan va unda doimiy hajmiy zichlik bilan taqsimlangandir

$$w = \frac{W}{V} = \frac{B^2}{2\mu\mu_0} = \frac{\mu\mu_0 H^2}{2} = \frac{B \cdot H}{2}. \quad (12.28)$$

Magnit maydon energiyasining hajmiy zichligi uchun bu ifodaning ko'rinishi xuddi elektrostatik maydon energiyasi hajmiy zichligi uchun topilgan formulaga o'xshashdir, faqat bu erda elektr kattaliklar magnit maydoni uchun keltirib chiqarildi, lekin u bir jinsli bo'lmagan maydonlar uchun ham taaluqlidir. (12.28) ifoda faqat B ning H ga bo'g'lanishi chiziqli bo'lgan moddalar uchun taaluqlidir ya'ni ular faqat para- va diamagnitlarga taaluqlidir.

Mavzu yuzasidan testlar

1. Transformator bu-

A) O'zgaruvchan tokni kuchaytiruvchi va pasaytiruvchi qurilma

B) O'zgaruvchan tokni o'zgarmas tokka aylantiruvchi qurilma

C) Zaryad yig'uvchi qurilma

D) Elektr energiya ishlab chiquvchi qurilma

2. G'altakning qarshiligi $R = 10 \text{ Om}$ va induktivligi $L = 0,144 \text{ Gn}$.

G'altak ulangandan qancha vaqt o'tgach, undagi tok oldingi belgilangan tokning yarmiga teng bo'ladi?

A) 0,01 s dan keyin B) 0,03 s dan oldin

C) 0,05 s dan keyin D) 0,04 s dan oldin

3. Ikki g'altakning o'zaro induktivligi $0,005 \text{ Gn}$ ga teng. Birinchi

g'altakdagi tok $I = I_0 \sin \omega t$ qonuni bo'yicha o'zgaradi, bunda $I_0 = 10$

A , $\omega = \frac{2\pi}{T}$ va $T = 0,02 \text{ s}$. 1) Ikkinchi g'altakdagi induksiya

EYuK. ning vaqtga bo'lgan tenglamasi tuzilsin. 2) Bu EYuK. ning eng katta qiymati topilsin.

A) 1) $\varepsilon = -L_{12} I_0 \omega \cos \omega t = 15,7 \cos 100\pi t \text{ V}$; 2) $\varepsilon_{\max} = 15,7 \text{ V}$

B) 1) $\varepsilon = -L_{12} I_0 \omega \cos \omega t = 17,7 \cos 100\pi t \text{ V}$; 2) $\varepsilon_{\max} = 17,7 \text{ V}$

C) 1) $\varepsilon = -L_{12} I_0 \omega \cos \omega t = 12,7 \cos 100\pi t \text{ V}$; 2) $\varepsilon_{\max} = 12,7 \text{ V}$

D) 1) $\varepsilon = -L_{12} I_0 \omega \cos \omega t = 19,7 \cos 100\pi t \text{ V}$; 2) $\varepsilon_{\max} = 19,7 \text{ V}$

4. Uzunligi 20 cm va diametri 3 cm bo'lgan g'altak 400 o'ramga ega.

G'altakdan 2 A tok o'tadi. 1) G'altakning L induktivligi va 2)

g'altakning ko'ndalang kesimidan o'tayotgan Φ magnit o'qimi topilsin.

A) $7,1 \cdot 10^{-4} \text{ Gn}$; $3,55 \cdot 10^{-6} \text{ Vb}$ B) $7,1 \cdot 10^{-4} \text{ Gn}$; $3,55 \cdot 10^{-6} \text{ Vb}$

C) $7,1 \cdot 10^{-4} \text{ Gn}$; $3,55 \cdot 10^{-6} \text{ Vb}$ D) $7,1 \cdot 10^{-4} \text{ Gn}$; $3,55 \cdot 10^{-6} \text{ Vb}$

5. 300 V potentsiallar ayirmasi bilan tezlashtirilgan elektron 4 mm uzoqlikdagi to'g'ri uzun sigma parallel ravishda harakatlanadi.

Simdan 5 A tok o'tsa, elektronga qanday kuch ta'sir etadi?

A) $F = 4 \cdot 10^{-16} \text{ N}$ B) $F = 2 \cdot 10^{-16} \text{ N}$

C) $F = 7 \cdot 10^{-16} \text{ N}$ D) $F = 4 \cdot 10^{-15} \text{ N}$

6. Faradeyning birinchi tajribasida, tinch turgan g'altakda paydo bo'ladigan induksiya tokini qanday begona kuch vujudga keltiradi?

A) Lorens kuchi, B) Elektrostatik maydon kuchi, C) Uyurmali elektr maydoni kuchi, D) Doimiy magnit ta'sirida.

7. Magnit maydonida harakatlanayotgan o'tkazgichda paydo bo'ladigan. EYuK. ni aniqlovchi ifodani ko'rsating:

A) $\varepsilon_i = \oint E_i dt$; B) $\varepsilon_i = -L \frac{dI}{dt}$; C) $\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt}$; D) $\varepsilon_i = 9Bl \sin \theta$

8. Induksiya 20 mTl bo'lgan magnit maydoniga tik holatda 5% tezlik bilan harakatlayotgan 10cm uzunlikdagi o'tkazgichda paydo bo'ladigan EYuK. ni hisoblang.

A) 0,1V; B) 1mV; C) 100mV; D) 10mV.

9. G'altagidan o'zgaruvchan tok oqayotgan elektromagnitning qutblari ustida shisha idishga solib quyilgandagi osh tuzi eritmasining harorati o'zgaradimi?

A) O'zgarmaydi, B) Oshadi, C) Kamayadi, D) Oldin oshdi, so'ng kamayadi.

10. Elektr qarshiligi 0,4 Ω bo'lgan aylana shakldagi o'tkazgichda hosil bo'lgan Fuko toki 5-minut davomida shu o'tkazgichda qancha issiqlik ajratadi.

A) 5000J. B) 3000J. C) 4000J. D) 3500J

11. Faradeyning elektromagnit induksiya qonunini ko'rsating

A) $\varepsilon = -\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$, B) $\varepsilon = \varepsilon_0 \sin \alpha t$, C) $\varepsilon = IR$, D) $m = kq$

Mavzu yuzasidan savollar

1. Elektromagnit induksiya hodisasi uchun Faradey qonunini tariflang va uni ifodalovchi formulani yozing.
2. Tranzistorlar ishlash prinsipi va qo'llanilish sohalari
3. O'zaro induksiya hodisasini fizik mohiyati va qo'llanilish sohalari.
4. O'zaro induktivlikni ifodalovchi formula va o'lchov birligi.
5. Lens qoidasini tushuntiring
6. Elektr zanjirini ulashdagi ekstra toklarni tushuntiring
7. Elektr zanjirini uzishdagi ekstra toklarni tushuntiring
8. Magnit maydon energiyasi
9. Magnit maydon zichligi
10. Fuko toklari nimani ko'rsatadi

Moddalarning magnit xususiyatlari.

§55. Moddadagi magnit maydon. Molekulyar toklar.

Magnitlanish vektori.

Molekulyar toklar. Magnitlanish vektori. O'tgan mavzularda o'tkazgichdan o'tgan tokning hosil qilgan maydonini uning atrofida modda bo'lmagan holda qarab chiqdik. Tajribalar ko'rsatadiki, moddaning borligi, magnit maydonining o'zgarishiga olib keladi. Buning sababi shundaki, barcha moddalar magnit maydon ta'sirida magnit xossaga ega bo'ladi- magnitlanadi va o'zlari magnit maydoni hosil qiladi. Shunday qilib, modda bo'lgan holda maydonning har bir nuqtasida yig'indi maydon hosil bo'ladi:

$$\mathbf{B} = \mathbf{B}_0 + \mathbf{B}' \quad (13.1)$$

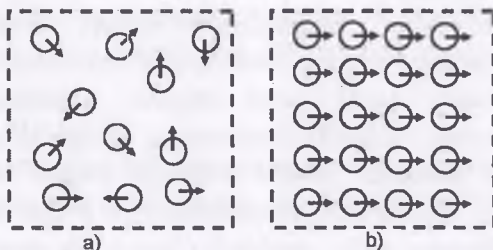
Bu formulada $\mathbf{B}_0$ - o'tkazgichdagi tok tufayli hosil bo'lgan magnit induksiyasi, $\mathbf{B}'$ - moddaning magnitlanish tufayli hosil bo'lgan magnit induksiyasi. Maydon moddaning xossasiga sezilarli bog'liq bo'ladi. Shuning uchun ham maydonning xossasini modda bo'lgan holda o'rganishdan oldin moddaning magnit maydon ta'sirida o'zini qanday tutishi bilan tanishib chiqaylik. Biz magnit maydon nazariyasini qurishda eng sodda model Ampurning molekulyar toklar modelidan foydalanamiz

Ampere gipotezasiga ko'ra, moddada mikroskopik yopiq toklar - "molekulyar toklar" mavjud bo'ladi. Tashqi maydon bo'lmaganda molekulyar toklarning orbitalari va shuningdek uning magnit momentlari xotik oriyentirlanib, har qanday makroskopik cheksiz kichik hajmda (ΔV) moddaning yig'indi magnit momenti nolga teng bo'ladi, modda magnit xossaga ega bo'lmaydi ((13.1 a) rasm). Moddani tashqi magnit maydoniga joylashtirganimizda molekulyar toklarning magnit momentlari maydon bo'ylab oriyentirlanadi, natijada har qanday kichik modda elementida noldan farq qiladigan magnit momentiga ega bo'ladi- modda magnitlanadi ((13.1 b) rasm).

Moddaning magnitlanish darajasini miqdoriy jihatdan xarakterlash uchun magnitlanish vektori deb ataladigan fizik kattalik kiritiladi. Magnitlanish vektori - modda hajmi birligidagi magnit momentlarining yig'indisidir. Shunday qilib, agar $\sum \mathbf{P}_k$ - kichik dV hajmdagi molekulyar

toklarning yig'indi magnit momenti bo'lsa, qarayotgan nuqtadagi magnitlanish vektori I quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$I = \frac{\sum P_k}{dV} \quad (13.2)$$



13.1 – rasm. Magnit momentlari maydon bo'ylab orientirlanishi

Magnitlanish vektorining XB sistemasidagi birligi $1A/m$ qabul qilingan.

Tajriba ko'rsatadiki, ko'pchilik moddalar (bunga ferromagnitlar kirmaydi) uchun magnitlanish vektori I maydon induksiyasiga proporsionaldir.

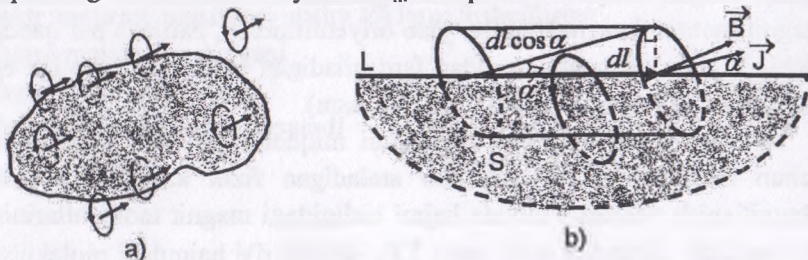
$$I \sim \chi B \quad (13.3)$$

Bu yerda proporsionallik koeffisienti moddaning xossasiga bog'liq bo'ladi va unga magnit qabul qiluvchanlik deyiladi.

§ 56. Muhitlardagi magnit maydon uchun to'la tok qonuni.

Molekulyar toklarning magnitlanish vektori bilan bog'liqligi

Makroskopik molekulyar tok va magnitlanish vektori orasidagi bog'lanishni qarab chiqamiz. Moddaning ichida L kontur bilan chegaralangan ixtiyoriy S sirt berilgan bo'lsin (13.2 a)-rasm) va bu sirt orqali o'tgan to'la molekulyar tok I_m ni topamiz.

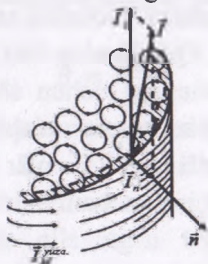


13.2-rasm. To'la molekulyar tokni topish chizmasi

Ravshanki, bu tokka asosiy ulushni L konturni o'rab olgan molekulyar toklar beradi, konturni o'rab olmagan yoki S sirtini kesmagan yoki uni qarama-qarshi yo'nalishda ikki marta kesgan toklar bo'lmaydi ((13.2 a) rasm). L konturni juda kichik qismlarga bo'lamiz va dastlab konturning dl elementi hosil qilgan dI_m ni hisoblaymiz ((13.2 b)-rasm). Bu element markazi 13.2-rasm da tasvirlangan qiyshiq parallelepiped ichidagi yotgan molekulyar toklarni o'raydi. Bunday molekulyar toklarning soni silindr hajmi $S \cdot dl \cdot \cos \alpha$ ning molekulyar konsentratsiyasi n_0 ga ko'paytmasiga teng bo'ladi, bu yerda S-molekulyar tokning yuzasi, α -dl bilan magnitlanish vektori **I** orasidagi burchak bo'lib, molekulyar toklarning magnit momentlari molekulyar toklarning tekisligiga perpendikulyar joylashgandir. Har bir molekulyar tok i ning ulushi $dI_m = i \cdot n_0 \cdot dl \cos \alpha$ yoki $i \cdot S = P$, $n_0 P = i$ va $I \cos \alpha = I_L$ ekanini hisobga olsak, $dI_m = I_L dl$ bo'ladi. S orqali o'tgan molekulyar tok:

$$I_m = \int I_e dl \quad (13.4)$$

Shunday qilib, S sirt orqali o'tgan to'la molekulyar tok shu sirtni chegaralab turgan kontur L bo'yicha magnitlanish vektorining sirkulyatsiyasiga teng. Bu formula magnitlanish vektori bilan modda yupqa qalinligida hajmiy molekulyar toklarning bog'lanishini ifodalaydi. Endi molekulyar toklar manzarasini jism sirti yaqinida qarab chiqamiz. 13.3-rasmda jismning kesmasi jism sirtining qandaydir nuqtasida magnitlanish vektoriga perpendikulyar bo'lgan hol ko'rsatilgan. Rasmdan ko'rinadiki, mikroskopik yupqa sirt yaqinidagi qatlamda, radiusi alohida molekulyar tok tartibida barcha molekulyar toklar umumiy yo'nalishga ega bo'lib, sirt molekulyar tokini hosil qiladi, jismning qandaydir sirti bo'yicha qandaydir tartiblangan molekulyar tok bilan o'rab olganday tuyuladi.

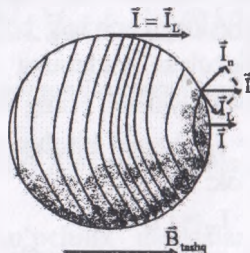


13.3-rasm. Mikroskopik yupqa sirt yaqinidagi qatlamda magnitlanish vektori

Hisoblashlar shuni ko'rsatadiki, bu sirt tokining zichligi j_m ni magnitlanish vektorining sirt nuqtasidan o'tgan proyeksiyasi I_L bilan aniqlanadi (13.3-rasm):

$$j_m^{\text{sirt}} = I_L \quad (13.5)$$

Isbot qilish mumkinki, sirt molekulyar toklar hamma vaqt magnitlanishga olib keladi, u vaqtda hajmiy molekulyar toklar faqat bir jinsli bo'lmagan moddada hosil bo'ladi. Buning misoli sifatida 13.4-rasmda sirt molekulyar toklarining bir jinsli magnitlangan sharti ko'rsatilgan



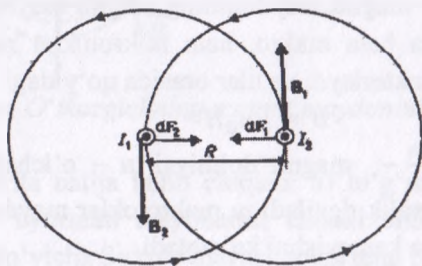
13.4-rasm. Sirt molekulyar toklarining bir jinsli magnitlangan sharti

Ekvatorida j_m^{sirt} maksimal ($I_L = I$) bo'lishini, qutbda ($I_L = 0$) bu kuch chizig'ining kamayishini ko'rsatadi.

Qadim zamonlardan temir birikmasi ($FeO.Fe_2O_3$) boshqa temir jismlarni tortishi ma'lum bo'lgan. Yerning ham magnit xossalari mavjudligi aniq bo'lgan va o'tkir uchga qo'yilgan magnit sterjen o'z-o'zidan meridian bo'ylab joylashishi aniqlangan. Bu kompas Xitoyda bundan 3000 yil ilgari kashf qilingan. Doimiy magnitlarni 1600 yilda Gilbert aniqlagan. Ularning ikkita qutbi, ya'ni temir buyumlarni katta kuch bilan tortuvchi chekka sohalari va ular orasida tortmaydigan neytral zonalar mavjuddir. Qutblarning biri doim shimolga, ikkinchisi esa janubga qaragan va shuning uchun shimoliy va janubiy qutblar deyiladi. Turli ismli qutblar o'zaro tortishadi, bir xil ismlilari esa itarishadi. Xuddi zaryadlangan jismlar elektr maydoni orqali ta'sirlashgani kabi magnit jismlar ham—bir biri bilan magnit maydoni orqali ta'sirlashadi.

Magnit maydon materiyaning maxsus turi bo'lib, u orqali harakatlanayotgan zaryaddan zarrachaga boshqa magnit momentga ega bo'lgan jismlarning o'zaro ta'siri o'rganiladi. Tabiatda magnit

zarrachalari yo'q. Magnitni qancha bo'lsak ham alohida S qutb va alohida N qutb olib bo'lmaydi. XVIII asrda Daniyalik olim Ersted chaqmoq nazariyasini o'rganadi, chaqmoq ta'sirida temir buyumlarning magnitlanishi va kompasning magnitsizlanishini aniqladi. Bu esa magnit va elektr hodisalar o'zaro bog'liq ekanligini ko'rsatadi. Ersted simdan tok oqayotganda uning atrofidagi magnit strelkasining yo'nalishi o'zgarishini aniqladi. Keyinchalik Fransuz olimi Amper tokli ikki o'tkazgichning o'zaro magnit ta'sirini aniqladi.



13.5–rasm. Ikkita parallel toklarning magnit maydonlari induksiya vektorlari va ta'sir qiluvchi kuchlari

Ikkita parallel toklarning magnit maydonlari induksiya vektorlari va ta'sir qiluvchi kuchlari 13.5-rasmda ko'satilgan.

1820 yil Amper doimiy magnitning sababchisi aylanma toklar ekanligi haqidagi gipotezani ilgari surdi. Aylanma toklar esa elektronlarning o'z o'qi va yadro atrofida aylanishi natijasida hosil bo'ladi. Bir jisimli magnit maydon induksiyasi bir–birlik yuzali tokli ramkaga ta'sir etuvchi maksimal magnit momentiga son jihatidan teng bo'lgan fizik kattalikdir.

$$B = \frac{M_{max}}{P_m} \quad (13.5)$$

$M_{max} = Fl$ – magnit maydoniga joylashtirilgan tokli ramkaga ta'sir qiluvchi kuch momenti, $P_m = IS$ – tokli ramkaning magnit moment vektiri, S – ramka yuzi, l – ramkaning tashqi magnit maydon induksiya vektori ta'sir qilayotgan tomonining uzunligi. (13.5) formulani

$$B = \frac{FA}{Il}, \quad (13.6)$$

ifodalash mumkin. Magnit maydon induksiyasi deb, o'tkazgichdan bir birlik tok kuchi o'tganda, magnit maydon kuch chizilariga perpendikulyar joylashgan o'tkazgichning uzunlik birligiga ta'sir qilayotgan kuchga miqdor jihatidan teng bo'lgan fizik kattalikka aytiladi. Magnit induksiyasi birligi qilib Tesla (Tl) qabul qilingan.

1 Tl (Tesla) – bu shunday bir jinsli magnit maydon induksiyasiki, agarda o'tkazgichli ramkadan 1 A tok o'tsa, uning har bir metriga 1 N kuch ta'sir qiladi.

H –mikrotoklar magnit maydonining magnit maydon kuchlanganligini ifodalaydi, B esa ham makro, ham mikrotoklar magnit maydonining induksiyasini xarakterlaydi va ular orasida qo'yidagi bog'lanish mavjud.

$$B = \mu\mu_0 H \quad (13.7)$$

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Gn}{m}$ – magnit doimiysi, μ – o'lchamsiz kattalik bo'lib magnit kirituvchanlik deyiladi, u makrotoklar maydoni hisobiga magnit maydon qanchaga kamayishni ko'rsatadi.

Ko'rib o'tgan edikki, elektrostatik maydon kuchlanganlik vektori E ning ixtiyoriy yopiq kontur L bo'yicha sirkulyatsiyasi nolga teng edi:

$$\int E dl = 0 \quad (13.8)$$

Magnit maydoni elektrostatik maydondan farqli bo'lib, u potensial maydon emasdir: Magnit induksiya vektorining $\vec{B}$ yopiq kontur bo'yicha sirkulyatsiyasi umumiy holda nolga teng emas va konturni tanlab olishga bog'liq. Bunday maydonni vektor tahlilida uyurmali maydon deyiladi.

Misol sifatida, vakuumda joylashgan cheksiz uzunlikdagi I miqdorda tok o'tuvchi o'tkazgichning magnit maydonini qaraylik (13.6-rasm). Bu maydonning magnit induksiya chiziqlari aylanadan iborat bo'lib, o'tkazgich tekisligiga perpendikulyar, markazi uning o'qida yotadi. 13.6a- rasmda bu chiziqlar punktir bilan tasvirlangan. $\vec{B}$ vektorining ixtiyoriy magnit induksiya chizig'i bo'yicha, ya'ni aylana radiusi r bo'yicha topamiz:

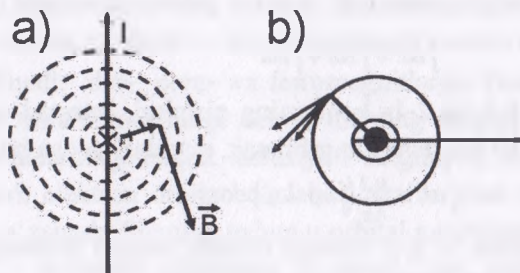
$$\int B dl = \int B dl \cos(Bdl) \quad (13.9)$$

Induksiya chizig'ini barcha nuqtalarida $\vec{B}$ son jihatdan quyidagiga teng:

$$B = \frac{\mu_0 2I}{4\pi r} \quad (13.10)$$

Bu kuch chiziqqa o'rinma bo'yicha yo'nalgan ($\cos(\mathbf{B}, d\mathbf{l})=1$)

Demak,
$$\int B dl = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2I}{r} \int dl = \mu_0 I \quad (13.11)$$



13.6-rasm. O'tkazgichning magnit maydonini

Bu ifodadan ikkita natija kelib chiqadi: a) to'g'ri chiziqli tokning magnit maydoni - uyurmali maydondir, chunki unda $\vec{B}$ ning magnit induksiya chizig'i bo'yicha Sirkulyatsiyasi nolga teng emas.

b) to'g'ri chiziqli tok magnit induksiya vektori $\vec{B}$ ning Sirkulyatsiyasi (vakuumda) barcha magnit induksiya chiziqlari bo'yicha bir xil va magnit doimiysining tok kuchi ko'paytmasiga teng.

Ko'rsatish mumkinki, keyingi ifoda (13.11) ixtiyoriy shakldagi cheksiz uzunlikdagi tokli o'tkazgichni o'rab olgan kontur uchun ham o'rinli ekanini (13.6b-rasm). Konturning A nuqtasida magnit induksiya $\vec{B}$ radius vektor $\mathbf{r}$ ga perpendikulyar. rasmdan ko'rinadiki,

$$B dl \cos(\mathbf{B}, d\mathbf{l}) = b dl, \quad (13.12)$$

bu yerda $dl_1 = dl \cos(\mathbf{B}, d\mathbf{l})$ — $d\mathbf{l}$ vektorining $\vec{B}$ vektor yo'nalishidagi proyeksiyasi. Aylanaga urinma bo'lgan kichik dl kesmani aylana yoyi bilan almashtirish mumkin: $dl_1 = r d\varphi$, bu yerda $d\varphi$ - markaziy burchak. Bu qiymatlardan dl_1 ni (13.12) ga va $\vec{B}$ ni formula (13.11) qo'ysak, quyidagiga ega bo'lamiz.

$$B dl \cos(\mathbf{B}, d\mathbf{l}) = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2I}{r} r d\varphi = \frac{2I\mu_0}{4\pi} d\varphi \quad (13.13)$$

Butun yopiq kontur L bo'yicha integrallasak va φ ni 0 dan 2π gacha o'zgaradi deb qarasak, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\int B dl \cos(\mathbf{B}, d\mathbf{l}) = \int \frac{\mu_0 I}{4\pi} d\varphi = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int d\varphi \text{ yoki } \int B dl = \mu_0 I \quad (13.14)$$

Shunday qilib, biz isbot qildikki, bu formula (13.11) ning o'zginasi bo'lib, u istalgan yopiq kontur uchun, kontur shaklidan qat'iy nazar o'rinli ekan. Yopiq kontur L tokli o'tkazgichni o'rab olgan holini qaraymiz. (82 rasm), u holda:

$$\oint Bdl = \int_1^2 Bdl + \int_2^1 Bdl \quad (13.15)$$

bu yerda 1-2 va 2-1- konturning qismlari. Integral ostidagi ifodani formula (13.14) bo'yicha almashtirsak, quyidagiga ega bo'lamiz

$$\oint Bdl = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \left(\int d\varphi + d\varphi \right) = 0 \quad (13.16)$$

Shunday qilib, to'g'ri chiziqli tokning magnit induksiya vektorining o'tkazgichni o'rab olgan qismida nolga teng.

Umumiy holda magnit maydonini $I_1, I_2, \dots, I_n$ tokli o'tkazgichdan iborat n ta o'tkazgich hosil qilishi mumkin. Bitta i-nchi tokli o'tkazgichning vakuumda hosil qilgan induksiyasini $\vec{B}$, bilan belgilaymiz. U holda, superpozitsiya prinsipiga ko'ra yig'indi induksiya quyidagiga teng bo'ladi:

$$B = \sum B_i \quad (13.17)$$

$\vec{B}$ vektorining ixtiyoriy yopiq L kontur bo'yicha sirkulyatsiyasi

$$\oint Bdl = \int (\sum B_i) dl = \int (\sum B_i dl) \quad (13.18)$$

$$\text{Demak,} \quad \oint Bdl = \begin{cases} \mu_0 I_i, & \text{agar kontur } L \text{ } I_i \text{ tokni o'rasa} \\ 0, & \text{agar kontur } L \text{ } I_i \text{ tokni o'ramasa} \end{cases} \quad (13.19)$$

$$\text{U holda,} \quad \oint Bdl = \mu_0 \sum_{i=1}^n I_i \quad (13.20)$$

bu yerda n — L konturni o'rab olgan tokli o'tkazgichlar soni. (13.18) tenglamaga vakuumdagi magnit maydoni uchun **to'la tok** qonunining matematik ifodasi deyiladi. Vakuumda magnit maydon induksiya vektorining yopiq kontur bo'yicha Sirkulyatsiyasi magnit doimiylikni shu kontur tomonidan o'rab olingan toklarning algebraik yig'indisining ko'paytmasiga teng.

Magnit maydon kuchlanganligi $\vec{H}$ vakuumda magnit induksiya $\vec{B}$ si bilan $\vec{H} = \vec{B}/\mu_0$ munosabat orqali bog'langandir, u holda, to'la tok qonunini yana boshqa shaklda yozish mumkin

$$\oint Hdl = \sum I_i \quad (13.21)$$

Keyinchalik ko'rsatamizki, to'la tok qonunini vakuumdagi magnit maydondan tashqari, ixtiyoriy muhit uchun ham to'g'ridir.

§57. Magnetiklarning turlari. Diamagnetiklar.

Tabiatdagi barcha moddalar o'zlarining magnit xususiyatlariga ko'ra 3 guruhga bo'linadi: dia-, para- va ferromagnitlarga. Jismlar atom va molekulalardan tashkil topganligi uchun ularning magnit xususiyatini ham shu zarrachalarning magnit xususiyati belgilaydi. Klassik nuqtai nazardan qarasak elektron orbita bo'ylab ϑ tezlik bilan aylanadi. Bu aylanma tokka o'xshash. Shuning uchun u orbital magnit momenti bilan xarakterlanadi. Aylanish chastotasi ν desak, tok kuchi quyidagi formulalar orqali ifodalanadi

$$I = ev \text{ yoki } I = \frac{e\vartheta}{2\pi r}. \quad (13.22)$$

Bu holda, elektronning orbital magnit momenti quyidagicha

$$P_{orb} = \frac{e\vartheta r}{2} \quad (13.23)$$

bo'ladi. Molekulaning magnit momenti atomlarning magnit momentlari yig'indisiga teng. Magnit maydonda magnit momentlar orentirlanadi va jism magnitlanadi. Magnitlanish darajasi j magnitlanish vektori kattaligi bilan xarakterlanadi.

$$j = \frac{\sum P_m}{\nu} \quad (13.24)$$

ya'ni hajm birligidagi $\sum P_m$ — magnit momentlar yig'indisi.

Klassik nazariyaga binoan paramagnit jismlarda noldan farqli bo'lgan magnit momentlar mavjud, lekin ular xaotik joylashgan. Shuning uchun magnitlanish vektori ($j = 0$) nolga teng.

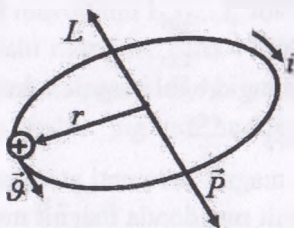
Diamagnitlar uchun $\mu < 1$, misol: Azot, vodorod, mis, suv va boshqalar. Bir jinslimas maydonda diamagnit maydondan itariladi.

Tashqi maydonga kiritilgan paramagnitdagi magnit momentlar magnit maydon bo'ylab joylashadi. Ular uchun nisbiy magnit singdiruvchanlik $\mu > 1$. Paramagnit moddalarga misol: alyuminiy, kislorod, molebden va boshqalar kiradi. Masalan alanga itariladi. Ferromagnitlarda $\mu \gg 1$. Ferromagnit tabiati kvant nazariyasi asosida tushuntiriladi. Masalan, *Fe*, *Ni*, *Co*, qotishmalar. Ularda gisterezis hodisasi kuzatiladi, ya'ni magnitlanish darajasi maydon induksiyasiga bog'liq. Ferromagnitlarda domenlar mavjud. Ularda shunday bir harorat

mavjudki, undan past hatoratda ferromagnit, yuqori haroratdada esa paramagnit. Bu nuqtaga Kyuri nuqtasi deyiladi. Yaxlit metallarda uyurmali toklar hosil bo'lad i.

Atomdagi elektronlar orbitasidagi harakatda ishtirok etishi tufayli modda ichida murakkab mikroskopik toklar manzarasini hosil qiladi. Agar moddani tashqi magnit maydoniga joylashtirsak, bu harakat o'zgaradi. Keyinchalik ko'rsatib o'tamizki, elektronlarning orbital harakatining o'zgarishi tashqi magnit maydoniga qarama-qarshi bo'lgan magnit momenti $\vec{P}$ ga teng bo'lgan qo'shimcha tok I ning hosil bo'lishiga olib keladi (13.7-rasm) va quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$P = -\frac{e^2 r^2 B}{4m} \quad (13.25)$$



13.7-rasm. Elektronlarning orbital harakati

bu yerda e va m elektron zaryadi va massasi, r -magnit maydon tufayli paydo bo'lgan qo'shimcha tokning radiusi, (indusirlangan) momentlarning yig'indisi barcha atomdagi elektronlar uchun

$$\vec{I}_{dia} = -\frac{e^2 \sum_i r_i^2 \vec{B}}{4m} \quad (13.26)$$

Yig'indisi $\sum_i r_i^2 n_i = \sum_i r_{ort}^2 = n_0 r_{ort}^2$ deb olish mumkin. Bu yerda n_0 – hajm birligidagi atomlar soni, r_{ort}^2 – atomdagi barcha orbitalar bo'yicha o'rtalashtirilgan indusirlangan tokning radius-kvadrati. Shunday qilib:

$$\vec{I}_{dia} = -\frac{e^2 r_{ort}^2 \vec{B}}{4m} \quad (13.27)$$

Bu magnitlanish, ya'ni orbital elektronlarining tashqi magnit maydoni tufayli hosil bo'lgan qo'shimcha indusirlangan maydon tufayli hosil bo'ladi va uni **diamagnetizm** deyiladi. Agar indusirlangan diamagnit momentlar barcha atomdagi elektronlar tomonidan hosil qilinsa, ular maydonga qarshi bo'lsada, kompensasiyalanmaydi, u

vaqtda diamagnetizm barcha moddalarga xos bo'ladi. Bundan diamagnetizm atom va molekullarning universal xossasi ekanligi kelib chiqadi.

Agar moddaning magnitlanishida diamagnetizm asosiy rolni o'ynasa, bunday moddalarga **diamagnetiklar** deyiladi. Formula (13.27) diamagnetikning magnitlanish vektorini aniqlaydi. $\frac{e^2 n_0 r^2 \mu_0}{4m} \ll 1$ ekanini hisobga olsak, diamagnetiklar uchun quyidagi ifodani olamiz:

$$\vec{I} = \chi \vec{H}, \quad (13.28)$$

bu yerda

$$\chi = -\frac{e^2 n_0 r^2 \mu_0}{4m}$$

Barcha inert gazlar diamagnetik hisoblanadi, ba'zi bir suyuqliklar (masalan, uglekislotalar) va ba'zi bir qattiq jismlar (masalan, vismut) diamagnetik hisoblanadi.

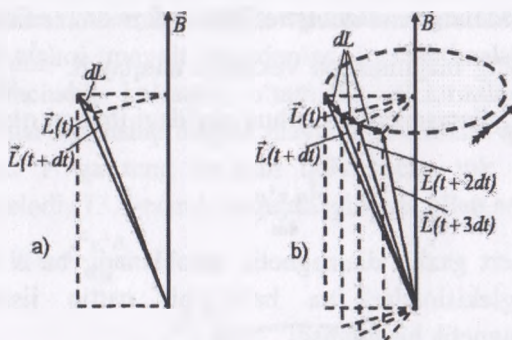
Diamagnetizmning kelib chiqish mexanizmini tushuntirish uchun atomning planetar modelidan foydalanamiz, bu model bo'yicha atomdagi elektronlar yadro atrofida yopiq orbitalar bo'yicha harakat qiladi, soddalik uchun bu orbitalarni aylana ko'rinishda deb olamiz. Har bir elektron aylana orbitasida tekis harakat qilib, orbita markaziga nisbatan $\vec{L} = [\vec{r} m \vec{g}]$ impuls momentiga ega bo'ladi. Impuls momenti $L = rm g$ kattalikka ega bo'ladi va orbita o'qi bo'yicha yo'nalgan. Tashqi ta'sir bo'lmaganda impuls momenti saqlanadi, u vaqtda elektronning harakati quyidagi tenglama bilan $\frac{d\vec{L}}{dt} = 0$ ifodalanadi. Elektron orbita bo'yicha harakat qilib, yopiq elektr tokini hosil qiladi. Elektronning aylanish chastotasi ν va zaryadi e – bo'lsin. Elektron har bir yuzachadan har sekundda ν marta o'tadi. U vaqtda tok kuchi $i = e\nu$ ga teng bo'ladi. Elektron zaryadi manfiy bo'lgani uchun, bu tok elektronning harakat tezligiga teskari yo'nalgan bo'ladi.

Har qanday tok magnit momentiga ega bo'lib, uning kattaligi $P = iS$ ga teng bo'ladi, bu yerda S – orbita yuzasi. 13.8-rasmdan ko'rinadiki, $\vec{P}$ vektorining yo'nalishi $\vec{L}$ vektorining yo'nalishiga qarama-qarshi $i = e\nu$, $\nu = \frac{g}{2\pi r}$ va $S = \pi r^2$ ekanligini hisobga olsak:

$$P = e\nu\pi r^2 = \frac{e g r}{2} \quad (13.29)$$

$\frac{P}{L}$ nisbatga girromagnit nisbat deyiladi va u quyidagiga teng bo'ladi.

$$\frac{P}{L} = -\frac{e}{2m} \quad (13.30)$$



13.8-rasm. Elektronning orbita bo'ylab harakati

Endi modda magnit maydoniga joylashtirilsa, atomdagi elektronning harakati qanday o'zgarishini qarab chiqaylik. Baholashlar ko'rsatadiki, uncha katta bo'lmagan maydon, elektronning orbital harakatini vaqt bo'yicha nisbatan sekin o'zgartiradi. Magnit momentga tashqi magnit maydon tomonidan ta'sir qilganda, momentlar tenglamasi quyidagiga teng bo'ladi:

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = [\vec{P} \times \vec{B}] \quad (13.31)$$

Yoki bu ifodaga formula (13.30) dan ifodasini qo'ysak va uni dt ga ko'paytirsak quyidagiga ega bo'lamiz:

$$d\vec{L} = \frac{e}{2m} [\vec{B} \times \vec{L}] dt \quad (13.32)$$

Budan ko'rinadiki, $d\vec{L}$ ning kichik o'zgarishi $[\vec{B} \times \vec{L}]$ vektor bo'yicha yo'nalgan bo'ladi, ya'ni u har bir t vaqtda $\vec{B}$ va $\vec{L}(t)$ vektorlar tekisligiga perpendikulyar bo'ladi. Impuls momentining dt vaqt ichida o'zgarishi: $\vec{L}(t+dt) = \vec{L}(t) + d\vec{L}$. Agar $\vec{L}$ vektorning bir necha vaqt oralig'idagi o'zgarishini kuzatsak, u holda, $\vec{L}$ vektor va u bilan orbita o'qi konus hosil qiladi va uning o'qi $\vec{B}$ tomon yo'nalgan bo'ladi. Bunday harakatga presessiya deyiladi. Shunday qilib tashqi magnit maydonining atomdagi elektronlar harakatiga ta'sirini elektronlar orbitasi o'qining presessiyaga keltiriladi yoki unga Lormor presessiyasi deyiladi.

Diamagnetiklarning asosiy xossalari:

1. Diamagnetiklarda magnitlanish vektori $\vec{I}$ magnit induksiya vektori $\vec{B}$ va maydon kuchlanganligi $\vec{H}$ vektoriga qarama-qarshidir, qiymati jihatdan ularga proporsionaldir.

$$\vec{I} = \chi \vec{H}, \quad \chi < 0$$

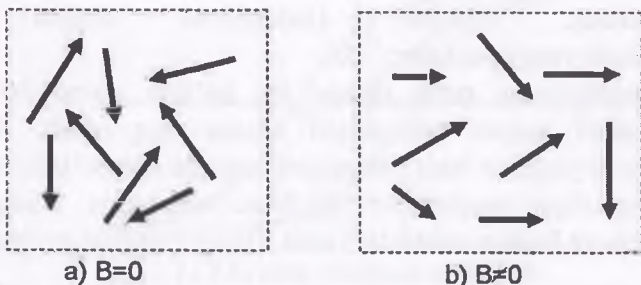
2. Diamagnetiklarning magnit qabul qiluvchanligi temperaturaga bog'liq emasdir.

3. Diamagnetiklar kuchsiz magnetiklardir. Ularning magnit qabul qiluvchanligi kichik: odatda $|\chi| \sim 10^{-5}$, $\mu = 1 + \chi = 1$.

§58. Paramagnetiklar. Ferromagnetiklar va gisteresis hodisasi.

Tashqi maydonga kiritilgan paramagnitdagi magnit momentlar magnit maydon bo'ylab joylashadi. Ular uchun nisbiy magnit singdiruvchanlik $\mu > 1$. Paramagnit moddalarga misol: alyuminiy, kislorod, molebden va boshqalar kiradi.

Endi magnit momenti $\vec{p}$ noldan farq qiladigan atom va molekullarni qaraymiz. Atomning magnit momenti elektronning orbital harakati tufayli hosil bo'ladigan orbital magnit momenti va elektronning xususiy mexanik momenti bilan bog'lik bo'lgan spin magnit momentidan iborat bo'ladi. Tashqi magnit maydoni bo'lmaganda barcha magnit momentlar teng yo'nalishga ega bo'ladi, shuning uchun atomlarning magnit momentlari xaotik va modda hajm birligida barcha yig'indi magnit moment nolga teng bo'ladi va modda magnitlanmagan bo'ladi (104a)-rasm)



13.9-rasm. Paramagnit moddalarda qutblanish

Tashqi magnit maydon bo'lgan holda magnit momentlari maydon bo'ylab yo'nalishi energetik jihatdan qulay bo'ladi. Mana shu maydon ta'sirida tartibli harakat bilan issiqlik harakati tufayli tartibsiz harakatlari

magnit momentlarining muvozanatli taqsimlanishiga (magnit induksiya bo'yicha) olib keladi. ((13.9b)-rasm). Modda hajm birligidagi atomlarning yig'indi magnit momenti quyidagiga teng bo'ladi:

$$I_{\text{para}} = \frac{\sum \vec{p}_k}{\Delta V} \quad (13.32)$$

Bu holda magnitlanish noldan farq qiladi, ya'ni modda magnitlangan holatda bo'ladi. Atom magnit momentlarining tashqi maydonda oriyentatsiyasiga bog'liq bo'lgan magnitlanishning bu turiga **paramagnetizm** deyiladi.

Paramagnetizmning asosiy xossalari: 1. Nazariya va tajriba ko'rsatadiki, uncha kuchli bo'lmagan maydonlarda paramagnitlarning magnitlanish vektori magnit maydon kuchlanganligiga proporsional va shu bo'yicha yo'nalgan bo'ladi:

$$I = \chi \vec{H}, \chi > 0 \quad (13.33)$$

2. Nazariya va tajriba ko'rsatadiki, paramagnetiklarning magnit qabul qiluvchanligi taxminan absolyut temperaturaga teskari proporsionaldir (Kyuri qonuni).

$$\chi \sim 1/T \quad (13.34)$$

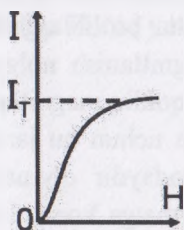
Kyuri qonuninig ma'nosi quyidagicha: temperatura qancha yuqori bo'lsa, shuncha issiqlik harakatining ta'siri kuchli bo'ladi, demak, shuncha moddaning magnitlanishi berilgan maydonda kichik bo'ladi.

3. Paramagnetiklar ham diamagnetiklar kabi kuchsiz magnetiklar qatoriga kiradi. $\chi \sim 10^{-4}$ va undan ham kam. Siyrak Yer elementlarida, masalan, Godoliniyda magnit qabul qiluvchanlik yetarlicha katta: $\sim 10^{-1}$

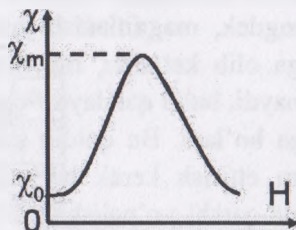
Paramagnetiklarga tartib raqami toq bo'lgan elementlar kiradi, ularning atom magnit momentlari noldan farq qiladi. Ko'pgina metallar va suyuqliklar ham paramagnit xossaga ega bo'ladi. Endi eng yaxshi o'rganilgan magnetiklar turi bilan tanishamiz. Ularga nikel, kobolt, temir va boshqa moddalar kiradi. Uning xossalari quyidagilardan iborat:

Birinchidan, ferromagnetiklar kuchli magnetiklardir, ularning magnit qabul qiluvchanligi $\chi \sim 10^6$ ga teng bo'lib, dia- va paramagnetiklarga nisbatan milliard marta kattadir. Shunga mos ravishda ferromagnetiklarning magnitlanishi ham kattadir.

Ikkinchidan, ferromagnetik magnitlanganda magnitlanish vektori kattaligi tashqi magnit maydon kuchlanganligiga proporsional oshmaydi. Agar dastlab magnitlanmagan ferromagnetikni ($I=0$) magnitlantirsak, uning magnitlanishi $\bar{I}(\bar{H})$ murakkab ko'rinishga ega bo'ladi. Bunga asosiy magnitlanish egri chizig'i deyiladi.

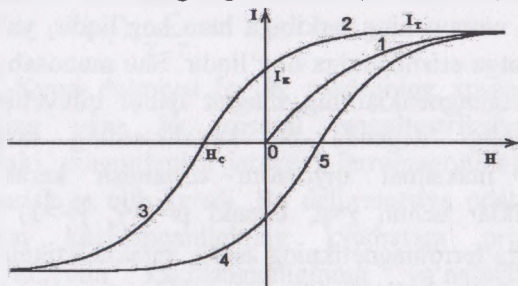


13.10-rasm. Magnitlanish chizig'i



13.11-rasm. Magnit qabul qiluvchanlik

Bu egri chiziqning xarakterli tomoni shundaki, magnitlanish qandaydir paytdan boshlab to'yinadi, maydon oshishi bilan umuman oshmay qoladi. $\bar{I}(\bar{H})$ ning noxiziqli o'sishi shuni bildiradiki, ferromagnitlarda magnit qabul qiluvchanlik doimiy emas. 13.10-rasmdan ko'rinadiki, asosiy magnitlanish egri chizig'i uchun magnit qabul qiluvchanlikning $\chi = \frac{I}{H}$ magnit maydon kuchlanganligiga ham bog'liqligi murakkab ko'rinishga ega bo'ladi. (13.12-rasm).



13.12-rasm. Gistrezis sirtmog'i

Ferromagnitlarning magnitlanish jarayoni uchun xarakterli bo'lgan hodisa gisterizisning mavjudligidir, ya'ni magnitlanish egri chizig'i bilan magnitsizlanish egri chizig'ining mos kelmasligidir. Namunani

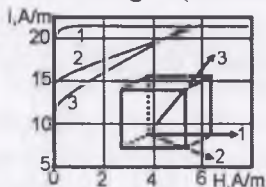
to'yinishgacha magnitlaymiz (asosiy magnitlanish egri chizig'i 01 qism 13.12-rasmda).

So'ngra uni magnitsizlantiramiz. Tashqi magnit maydonini teskari ketma-ketlikda kamaytiramiz, keyingi teskari jarayon bilan to'g'ri jarayon bir biri bilan mos kelmaydi (13.12-rasmda 1-2 egri chiziqlar). Magnitlanish magnitsizlanish maydonidan «qandaydir orqada qoladi», shuningdek, magnitlanish jarayoniga nisbatan katta bo'lib qoladi. Bu shunga olib keladiki, maydon yo'qolsa ham magnitlanish nolga teng bo'lmaydi, balki qandaydir chekli qiymatga, ya'ni qoldiq magnitlanish I_r ga ega bo'ladi. Bu qoldiq manitlanishni yo'qotish uchun bu jarayonni davom ettirish kerak bo'ladi, ya'ni maydon qandaydir qiymatgacha qarama-qarshi yo'nalishda oshirib boriladi, bu qiymatga koersitiv kuch H_c deyiladi. Agar maydonni yana to'yinishgacha oshirib borsak 3-4 qismlar, so'ngra teskari ketma-ketlikda yana to'yinish magnitlanishigacha kelsak 4-5-1 qismlar va natijada, biz yopiq egri chiziq 1-2-3-4-5-1 ga ega bo'lamiz va bunga gisterezis halqasi deyiladi.

Agar shunday jarayonni magnit maydonining kichik qiymatida davriy davom ettirib borsak, unga xususuiy gisterizis xalqasi mos keladi va u asosiy gisterizisning ichida yotadi (13.12-rasmda punktir bilan ko'rsatilgan). Shunday qilib, ferromagnetiklarda magnitlanish maydonning bir qiymatli funksiyasi bo'la olmaydi. (masalan, maydon $\bar{H} = \bar{H}$, bo'lganda magnitlanish I_1 va I_2 chegarasida istalgan qiymat olishi mumkin) va namunaning tarkibiga ham bog'liqdir, ya'ni qanday qilib shunday holatga erishilganiga bog'liqdir. Shu munosabat bilan aniqlash kerakki, ferromagnetiklarning magnit qabul qiluvchanlik va magnit singdiruvchanligi deganda bu kattaliklarning magnitlanish egri chizig'idagi maksimal qiymatini tushunish kerak. (13.12-rasm) ferromagnetiklar uchun $\chi = \mu$, chunki $\mu = 1 + \chi$, $\chi \gg 1$) $\bar{H}_s$, I_r va $\mu_{\max}$ konstantalarga ferromagnetikning asosiy xarakteristikalari deyiladi. I_r va $\bar{H}_s$ qiymati katta bo'lgan ferromagnetiklarga qattiq deyiladi, ularda gisterizis halqasi kengdir. Natijada qoldiq magnitlanish katta bo'ladi, bu ferromagnetiklar doimiy magnitlar tayyorlashda ishlatiladi. Boshqa maqsadlarda, masalan, transshakltorlar o'zagini tayyorlashda I_r va $\bar{H}_s$ nisbatan kichik bo'lgan ferromagnetiklar ishlatiladi, bu yerda gisterizis

halqasi ancha tor bo'ldi va ular qayta magnitlashda kam energiya sarf bo'lishiga olib keladi.

Ferromagnetik monokristalining xarakterli tomoni shundaki, ularning magnit anizotropiyaga ega bo'lishidir, ya'ni magnitlanish egri chizig'i kristalning magnit maydonidagi oriyentasiyasiga bog'liq bo'ldi. 13.13-rasmda temirning elementar panjara yacheykasi keltirilgan va uchta kristallografik o'q yo'nalishi ko'rsatilgan (13.13-rasm)



13.13-rasm. Temirning elementar panjara yacheykasi

Agar temir monokristalini magnit maydonida 1-, 2- va 3-kristallografik o'qi bo'yicha magnitlasak, 3-ta turli xil asosiy magnitlanish egri chizig'iga ega bo'lamiz, bu hol rasmda tegishli raqam bilan ko'rsatilgan. Har bir ferromagnetiklar uchun xarakterli T_c temperatura mavjudki, bu temperatura Kyuri temperaturasi deb atalib, bu temperaturaga yetganda ferromagnetik o'zga xos magnit xossasini yo'qotadi va oddiy paramagnetikka aylanib qoladi. Magnit qabul qiluvchanlik Kyuri -Veyss qonuniga bo'ysunadi:

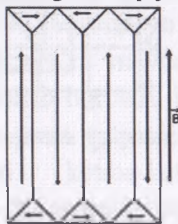
$$\chi = \frac{C}{T - T_c} \quad (13.35)$$

Bu yerda C-Kyuri doimiysi bo'lib, moddaning xossasiga bog'liq. Ferromagnetikning yana bir xossasi magnitostriksiyadir. Uning mohiyati shundaki, magnitlanish jarayoni ferromagnitning chiziqli va hajmining o'zgarishiga olib keladi. Bu deformatsiya odatda kichik va magnit maydon kuchlanganligining kvadratiga proporsionaldir. Deformatsiya maydon kuchlanganligining yo'nalishiga bog'liq bo'lmaydi, magnitostriksiya juft effektdir.

Yuqorida biz qarab o'tgan ferromagnetiklarning magnitlanish jarayoni uning tuzilishi bilan bog'langandir, bu yerda eng asosiy rolni elektronlarning spin magnit momenti o'ynaydi. Kvant nazariyadan kelib chiqadiki, elektronlarning o'zaro ta'siri spinlar momentining oriyentasiyasiga bog'liq ekanligi. Ferromagnitlarda bu o'zaro ta'sir

(almashish) spontan magnitlanish sohalarini vujudga keltiradi, ya'ni domenlarni hosil qiladi. Har bir domen chegarasida magnit momentlar bir -biriga parallel, yig'indi moment maksimaldir. Magnitlanmagan ferromagnitlarda ko'p domenlar bor bo'lgan sohaning magnitlanishi domenlar magnit momentlarining turli xil oriyentatsiyasi tufayli nolga teng (domenlarning xarakterli o'lchami $10^{-4} - 10^{-3}$ cm) (13.14-rasmda domenlarning magnit momentlari strelka bilan ko'rsatilgan).

Ferromagnetikning magnitlanish jarayonida tashqi magnit maydoni oshishi bilan dastlab domenlar chegarasi qayta quriladi:

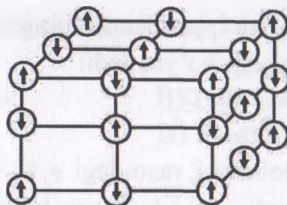


13.14-rasm. Domenlarning magnit momentlari

Energetik jihatdan qulay bo'lgan domenlarning magnit momentlari maydon kuchlanganligi bilan o'tkir burchak hosil qiladi va energetik jihatdan qulay bo'lmagan domenlar hisobidan kengayadi. So'ngra domenlarning yig'indi magnit momentlarining burilishi muhim rol o'ynaydi va u tashqi maydon bo'yicha yo'naladi. Barcha magnitlar (domenlar) maydon bo'yicha to'la yo'nalib bo'lsa, to'yinish ro'y beradi. Domenlarning qayta qurilishi qaytmasdir, bu bilan gisterizis halqasining sababi tushuntirildi. Kyuri temperaturasiga yetganda domenlar buziladi.

Antiferromagnetizm va ferrimagnetizm.

Magnit dipollari o'rtasidagi o'zaro ta'sirning xarakteriga qarab, tashqi magnit maydon bo'lmaganda ham qo'shni atomlarning magnit momentlari ko'p sonidagi atomlarning bir biriga nisbatan oriyentatsiyasini qarama-qarshi yo'nalishda hosil qilishi mumkin. Kristall ikkita magnit panjarasidan iborat bo'ladi, bir birining ustiga qo'yilgan, ularning har birida barcha dipollar parallel yo'nalgan, faqat oriyentatsiyasi u yoki bu panjarada qarama-qarshi bo'ladi (13.15-rasm).



13.15-rasm. Kristall magnit panjarasi

Bunday kristalning yig'indi magnitlanishi nolga teng, tashqi magnit maydoni nisbatan kichik bo'lgan kuchsiz magnitlanishni hosil qiladi. Bunday kristalga antiferromagnitlar deyiladi. Bu yerda ham ferromagnetizmdagi singari Kyuri temperaturasi o'xshash temperatura (Neyel temperaturasi deyiladi) mavjud bo'ladi, undan yuqorida mushtaraklik effektlari yo'qoladi va kristall paramagnit bo'lib qoladi. 1-jadvalda ba'zi bir antiferromagnit moddalar ro'yxati keltirilgan.

Antiferromagnetiklar

Modda	Neyel nuqtasi, °C
Sr	202
α – Mn	-173
FeO	-75
MnC	-133
CoF ₂	-223

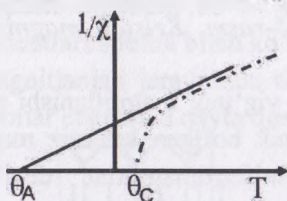
Ferrimagnetizm(ferritlar) umumiyroq magnit holatdir. Bu holda ikkala panjara ham turli xil atom magnit momentiga ega bo'ladi: kompensasiya bo'lmaydi va ferromagnetizmdagi singari spontan magnitlanish mavjud bo'ladi. Bu spontan magnitlanish ham ma'lum bir temperaturada yo'qoladi, bu temperatura Kyuri temperaturasi deb aytiladi. Ferromagnit moddalarning eng muhim sinfi bu ferritlardir. $\text{MnO-Fe}_2\text{O}_3$, bular ichida $\text{FeO-Fe}_2\text{O}_3$ -magyietin qadimdan o'zining ferromagnit xossasi bilan ma'lum.

Ferritlar o'zining elektr xossasi bo'yicha dielektriklarga o'xshaydi. Keyingi vaqtda yarim o'tkazgichlar deb atalgan yangi sinfdagi moddalar paydo bo'ldi. Bularning fizik xossasini o'rganish qizg'in ketmoqda.

Ferritlarning magnit qabul qiluvchanligining temperaturaga bog'liqligi 13.16-rasmdagi qonuniyatga bo'ysunadi:

$$\chi_A = \frac{C}{T + \theta_A} \quad (13.36)$$

bu yerda C- Kyuri doimiysi, rasmdagi $\theta_A = -\frac{C}{\chi_A}$ ga teng.



13.16-rasm. Ferritlarning magnit qabul qiluvchanligining temperaturaga bog'liqligi

$\frac{1}{\chi_A} = \frac{T + \theta_A}{C}$ ning kesishishidan Kyuri temperaturasi aniqlanadi. Bu temperaturani Neyel asimptotik Kyuri nuqtasi deb ham ataladi. $T=0$ bo'lganda $1/\chi_A$ o'q $1/\chi_A$ nuqtada kesishadi. θ_p - ferritning paramagnit temperaturasi. Neyel uni paramagnit Kyuri nuqtasi deb atagan.

Hozirgi vaqtda magnetiklarning soni 14 ta turi mavjud. Eng keyingi turlari amorf magnit materiallarda aniqlandi. Bular: superparamagnetizm, spin shisha, speromagnetizm, sperimagnetizm, asperomagnetizm va h.k..

Mavzu yuzasidan testlar

1. Quyidagi moddalardan faqat diamagnit moddalarni ko'rsating: 1 – havo, 2 – marganes, 3 – nikel, 4 – shisha, 5 – kobalt, 6 – mis, 7 – shisha, 8 – temir, 9 – suv, 10 – vismut:

- A) 6,7,9,10; B) 1,2,7; C) 3,5,8; D) 2,7,8.

2. Qaysi moddalar o'zgaruvchan magnit singdiruvchanlikka ega bo'ladilar:

- A) Paramagnetiklar; B) Ferromagnetiklar;
C) Diamagnetiklar; D) Antiferromagnetiklar.

3. Paramagnit moddalar tashqi magnit maydoni kattaligiga qanday ta'sir ko'rsatadilar:

- A) Ta'sir ko'rsatmaydi; B) Juda kuchaytiradi;
C) Kuchaytiradi; D) Susaytiradi.

4. Magnit maydoni induksiyasi ($\vec{B}$) , kuchlanganligi ($\vec{H}$) va magnitlanish ($\vec{I}$) vektorlari orasida qanday bog'lanish bor:

- A) $\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + \vec{I})$ B) $\vec{B} = \mu_0\mu\vec{H}$
C) $\vec{I} = \chi\vec{H}$ D) $\vec{H} = \mu_0(\vec{B} + \vec{I})$

5. Elektr maydoni yordamida magnit maydoni, b) magnit maydoni yordamida elektr maydoni hosil qilish mumkinmi?

- A) a) – mumkin, b) - mumkin;
B) a) – mumkin emas, b) - mumkin;
C) a) – mumkin emas, b) – mumkin emas;
D) a) – mumkin, b) – mumkin emas.

6. Paramagnetiklar va ferromagnetiklarning paramagnit qabul qiluvchanligining temperaturaga bog'lanishini ifodalovchi Kyuri tomonidan tajribadi aniqlangan qonunlarning to'g'ri matematik ifodalarni ko'rsating (χ_n va χ_ϕ)

- A) $\chi_n = \frac{C}{T}$ va $\chi_\phi = \frac{C}{T - \theta_p}$;
B) $\chi_n = \frac{C}{T}$ va $\chi_\phi = \frac{C}{T - T_N}$;
C) $\chi_n = \frac{C}{T - \theta_p}$ va $\chi_\phi = \frac{C}{T}$;
D) $\chi_n = CT$ va $\chi_\phi = \frac{C}{T + \theta_p}$;

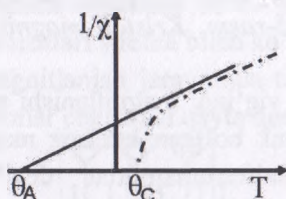
7. Magnit maydonining energiyasi (W_v) va energiyasi zichligi (ω_v) uchun to'g'ri ifodalarni aniqlang.

- A) $W = \frac{\mu_0\mu H^2}{2} = \frac{B^2}{2\mu_0\mu}$ va $\omega_v = \frac{B^2}{2\mu_0\mu}$
B) $W = \frac{\mu_0\mu B^2}{2} = \frac{H^2}{2\mu_0\mu}$ va $\omega_v = \frac{H^2}{2\mu_0\mu}$

Ferritlarning magnit qabul qiluvchanligining temperaturaga bog'liqligi 13.16-rasmdagi qonuniyatga bo'ysunadi:

$$\chi_A = \frac{C}{T + \theta_A} \quad (13.36)$$

bu yerda C- Kyuri doimiysi, rasmdagi $\theta_A = -\frac{C}{\chi_A}$ ga teng.



13.16-rasm. Ferritlarning magnit qabul qiluvchanligining temperaturaga bog'liqligi

$\frac{1}{\chi_A} = \frac{T + \theta_A}{C}$ ning kesishishidan Kyuri temperaturasi aniqlanadi. Bu temperaturani Neyel asimptotik Kyuri nuqtasi deb ham ataladi. $T=0$ bo'lganda $1/\chi_A$ o'q $1/\chi_{A0}$ nuqtada kesishadi. θ_p - ferritning paramagnit temperaturasi. Neyel uni paramagnit Kyuri nuqtasi deb atagan.

Hozirgi vaqtda magnetiklarning soni 14 ta turi mavjud. Eng keyingi turlari amorf magnit materiallarda aniqlandi. Bular: superparamagnetizm, spin shisha, speromagnetizm, sperimagnetizm, asperomagnetizm va h.k..

Mavzu yuzasidan testlar

1. Quyidagi moddalardan faqat diamagnit moddalarni ko'rsating: 1 – havo, 2 – marganes, 3 – nikel, 4 – shisha, 5 – kobalt, 6 – mis, 7 – shisha, 8 – temir, 9 – suv, 10 – vismut:

- A) 6,7,9,10; B) 1,2,7; C) 3,5,8; D) 2,7,8.

2. Qaysi moddalar o'zgaruvchan magnit singdiruvchanlikka ega bo'ladilar:

- A) Paramagnetiklar; B) Ferromagnetiklar;
C) Diamagnetiklar; D) Antiferromagnetiklar.

3. Paramagnit moddalar tashqi magnit maydoni kattaligiga qanday ta'sir ko'rsatadilar:

- A) Ta'sir ko'rsatmaydi; B) Juda kuchaytiradi;
C) Kuchaytiradi; D) Susaytiradi.

4. Magnit maydoni induksiyasi ($\vec{B}$) , kuchlanganligi ($\vec{H}$) va magnitlanish ($\vec{I}$) vektorlari orasida qanday bog'lanish bor:

- A) $\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + \vec{I})$ B) $\vec{B} = \mu_0\mu\vec{H}$
C) $\vec{I} = \chi\vec{H}$ D) $\vec{H} = \mu_0(\vec{B} + \vec{I})$

5. Elektr maydoni yordamida magnit maydoni, b) magnit maydoni yordamida elektr maydoni hosil qilish mumkinmi?

- A) a) – mumkin, b) - mumkin;
B) a) – mumkin emas, b) - mumkin;
C) a) – mumkin emas, b) – mumkin emas;
D) a) – mumkin, b) – mumkin emas.

6. Paramagnetiklar va ferromagnetiklarning paramagnit qabul qiluvchanligining temperaturaga bog'lanishini ifodalovchi Kyuri tomonidan tajribadi aniqlangan qonunlarning to'g'ri matematik ifodalarini ko'rsating (χ_n va χ_ϕ)

- A) $\chi_n = \frac{C}{T}$ ba $\chi_\phi = \frac{C}{T - \theta_p}$;
B) $\chi_n = \frac{C}{T}$ ba $\chi_\phi = \frac{C}{T - T_N}$;
C) $\chi_n = \frac{C}{T - \theta_p}$ ba $\chi_\phi = \frac{C}{T}$;
D) $\chi_n = CT$ ba $\chi_\phi = \frac{C}{T + \theta_p}$;

7. Magnit maydonining energiyasi (W_v) va energiyasi zichligi (ω_v) uchun to'g'ri ifodalarni aniqlang.

- A) $W = \frac{\mu_0\mu H^2}{2} = \frac{B^2}{2\mu_0\mu}$ ba $\omega_B = \frac{B^2}{2\mu_0\mu}$
B) $W = \frac{\mu_0\mu B^2}{2} = \frac{H^2}{2\mu_0\mu}$ ba $\omega_B = \frac{H^2}{2\mu_0\mu}$

$$C) \quad W = \frac{B}{2H} = \frac{B^2}{2\mu_0\mu} \text{ Ba } \omega_B = \frac{B^2}{2\mu_0\mu};$$

$$D) \quad W = \frac{H}{2B} = \frac{H^2}{2\mu_0\mu} \text{ Ba } \omega_B = \frac{B^2}{2\mu_0}$$

8. Magnit maydoni induksiyasi vektorining yopiq kontur bo'yicha sirkulyasiyasi haqidagi teorema (to'liq tok qonuni) ning matematik ifodasini aniqlang.

$$A) \oint_l B_i dl = \mu_0 \sum_{i=1}^N J_i; \quad B) dB = K' \frac{J \sin \alpha dl}{r^2};$$

$$C) \oint_s B_n dS = 0; \quad D)$$

$$\Phi_E = \oint_s B_n dS = 0$$

Mavzu yuzasidan savollar

1. Molekulyar toklar haqida tushuncha bering
2. Moddalar magnit xossalriga binoan necha turga bo'linadi
3. To'la tok qonunini tushuntiring
4. Diamagnitlar qanday moddalar
5. Paramagnitlar va ularning xossalari
6. Ferromagnitlar va ularning xossalari
7. Ferritlar qanday moddalardan iborat
8. Gistrezis hodisasini tushuntiring
9. Magnit kirituvchanlikga tariff bering
10. Kyuri va Nelli nuqtalari haqida tushuncha bering

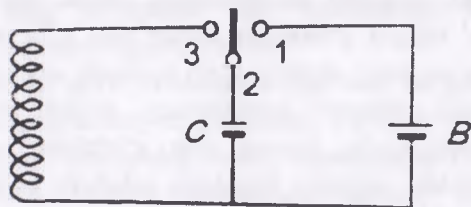
Elektromagnit tebranishlar va to'liqlar.

Elektromagnit tebranishlar.

§59. Tebranish konturidagi fizik jarayonlar. Tomson formulasi.

Tebranishlar konturi va uning xususiy tebranishlari.

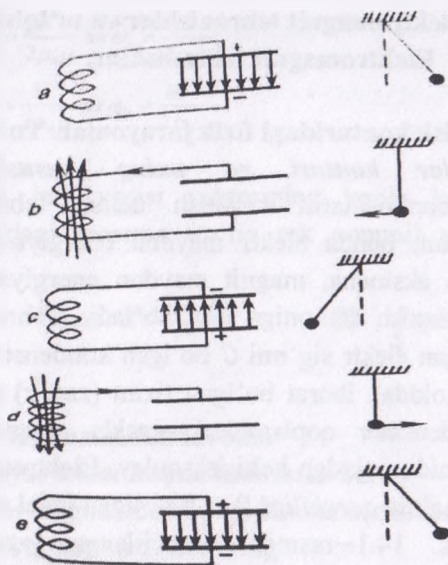
Elektromagnit tebranishlarni kuzatish uchun tebranish konturidan foydalanish lozim, bunda elektr maydon energiyasi magnit maydon energiyasiga va aksincha, magnit maydon energiyasi elektr maydon energiyasiga aylanish imkoniga ega bo'ladi. Tebranish konturi deb ketma-ket ulangan elektr sig'imi C bo'lgan kondensator va induktivligi L bo'lgan solenoiddan iborat bo'lgan tizim (zanjir) ga aytiladi. Elektr maydonni kondensator qoplamalari orasida, magnit maydonni esa solenoid yordamida vujudga keltirish qulay. Elektromagnit tebranishlar sodir bo'lishini aktiv qarshiligi $R = 0$ bo'lgan ideal tebranish konturida qarab chiqaylik. 14.1—rasmda tasvirlangan zanjirdagi 1 va 2 klemmelarni ulab kondensatorni batareya B dan zaryadlaymiz kondensator qoplamalarida q_m zaryad to'plangach (bunda kondensatordagi kuchlanishning qiymati U_m ga yetadi), kalit rechagini 2 va 3 klemmalar orasida elektr kontakti hosil qilamiz. Natijada kondensator solenoid g'altagi orqali razryadlana boshlaydi.



14.1-rasm. Elektr tebranish konturi

14.1—a rasmda kondensatorning razryadlanishi boshlanayotgan moment tasvirlangan. Bu momentda kondensator qoplamalari orasida elektr maydon mavjud bo'lgan ideal tebranish konturida qarab chiqaylik. 14.1—rasmda lib uning energiyasi o'zining eng katta (maksimal) qiymatiga erishadi, ya'ni

$$W_e = \frac{1}{2} \frac{q_m^2}{C} \quad (14.1)$$



14.1-rasm. Tebranish konturida tebranishlarni hosil qilish

Solenoid g'altagi ichida esa ayni momentda magnit maydon vujudga kelganicha yoq. Shuning uchun bu momentda konturdagi energiya elektr maydon energiyasidan iborat bo'ladi. Kondensator razryadlanishi tufayli g'altakdan elektr toki o'ta boshlaydi. Natijada g'altak ichida va uning atrofida o'sib boruvchi magnit maydon vujudga kela boshlaydi. Magnit maydonning o'sishi kondensator to'liq razryadlangunga qadar davom etib g'altakda o'zinduktiya elektr yurituvchi kuchini vujudga kelishiga sababchi bo'ladi. O'zinduksiya elektr yurituvchi kuchi g'altak orqali oqayotgan tokning o'sishiga qarshilik ko'rsatadi, lekin uni to'xtata olmaydi. Kondensator to'liq razryadlangan momentda (ya'ni kondensator qoplamlari orasidagi elektr maydon butunlay yo'qolganda) tok kuchi o'zining maksimal qiymati ($I_m = \frac{dq_m}{dt}$) ga erishadi. Bu momentda (14.1—b rasmga qarang) konturdagi energiya faqat g'altakning magnit maydon energiyasi sifatida namoyon buladi va uning qiymati

$$W_M = \frac{1}{2} L I_m^2 = \frac{1}{2} L \left(\frac{dq_m}{dt} \right)^2 \quad (14.2)$$

ga teng bo'ladi.

Shundan so'ng, magnit maydon susaya boshlaydi. Bu esa g'altakda o'zinduksiya ekektr yurituvchi kuchini bujudga keltiradi.

Induksion tok, Lens qoidasiga asosan, magnit maydon kamayuvini to'ldirishga harakat qiladi, ya'ni o'zinduksiya ekektr yurituvchi kuchning yo'nalishi g'altakdagi tokning avvalgi yo'nalishi bilan bir xil bo'ladi. Natijada kondensatorning qayta zaryadlanishi sodir bo'ladi. Demak, bu vaqtda magnit maydon energiyasi elektr maydon energiyasiga aylanib bo'ladi, lekin bu holda elektr maydonning yo'nalishi (14.1—b rasmga qarang) boshlangich holatdagi elektr maydon (14.1—a rasmda tasvirlangan) yo'nalishiga teskari bo'ladi.

Keyin yna kondensatorning razryadlanishi va konturda teskari yo'nalishda elektr tokining oqishi kuzatiladi. Bu tok g'altakdan o'tib uning ichida magnit maydon hosil qiladi. Magnit maydonning yo'nalishi bu holda (14.1—g rasmga qarang) oldingi holdagiga qarama—qarshidir yo'nalgan bo'ladi.

Shundan keyin magnit maydon energiyasi hisobiga o'zinduksiya toki vujudga keladi va kondensator qoplamalari orasida boshlang'ich yo'nalishdagi elektr maydon (14.1—d rasmga qarang) nosil bo'ladi.

Shunday qilib, konturda bitta to'liq tebranish hosil bo'ldi. Keyingi jarayon ham shu taxlidda yna takrorlanaveradi. Agar konturdagi aktiv qarshilik nolga teng bo'lganda edi, konturadagi elektromaghit tebranishlar cheksiz davom etgan bo'lar edi.

Endi, konturning aktiv qarshiligi nolga teng bo'lgan hol uchun elektromagnit tebranishlarning tenglamasini topaylik. Bu chegaraviy holdagi tebranishlarni konturning erkin tebranishlari yoki xususuy tebranishlari deyiladi. Demak, konturning xususiy tebranishlarida davriy ravishda elektr maydon energiyasi magnit maydon energiyasiga va aksincha, magnit maydon energiyasi elektr maydon energiyasiga aylanishi sodir bo'ladi. Tebranishlar vaqtida kontur aktiv qarshiligi $R = 0$ bo'lsa, konturdan issiqlik miqdori ajralib chiqmaydi. Tebranishlar sodir bo'layotgan vaqtda konturga tashqi kuchlanish berilmaganligi uchun kondensatordagi kuchlanish tushishi $U_c = \frac{q}{C}$ va g'altakdagi kuchlanish tushishi $U_L = L \frac{dI}{dt} = L \frac{d^2q}{dt^2}$ ning yig'indisi nolga teng bo'lishi lozim, ya'ni:

$$L \frac{d^2 q}{dt^2} + \frac{q}{C} = 0. \quad (14.3)$$

Bu ifodani L ga bo'lsak va

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (14.4)$$

belgilashni kiritsak, (14.3) ifoda quyidagi ko'rinishga keladi;

$$\frac{d^2 q}{dt^2} + \omega_0^2 q = 0 \quad (14.5)$$

Bu tenglamaning yechimi

$$q = q_m \cos(\omega_0 t + \varphi) \quad (14.6)$$

ko'rinishdagi funksiya bo'ladi. Bu tenglamadan ko'rinadiki, kondensator qoplamalaridagi zaryad miqdori garmonik qonun bo'yicha o'zgaradi (14.2-rasm). Kondensatordagi kuchlanish esa

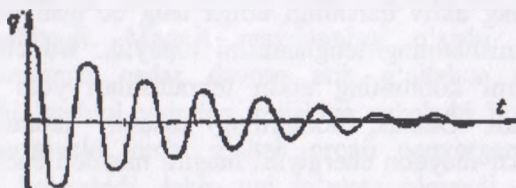
$$U = \frac{q}{C} = \frac{q_m}{C} \cos(\omega_0 t + \varphi) = U_m \cos(\omega_0 t + \varphi) \quad (14.7)$$

ifoda bilan aniqlanib, u qoplamalardagi zaryad miqdoriga mos ravishda o'zgaradi:

Zanjirdagi tok kuchi ham garmonik qonun bo'yicha o'zgaradi:

$$I = \frac{dq}{dt} = -\omega_0 q_m \sin(\omega_0 t + \varphi) = I_m \cos\left(\omega_0 t + \varphi + \frac{\pi}{2}\right). \quad (14.8)$$

Demak, tok kuchi zaryad va kuchlanishdan faza bo'yicha $\frac{\pi}{2}$ ga orqada qiladi.



14.2-rasm. Kondensator qoplamalaridagi zaryad miqdori garmonik qonun bo'yicha o'zgaradi

Yuqoridagi tenglamalardam ko'rinib turibdiki, konturda zaryad, kuchlanish va tok kuchining o'zgarishi ω_0 doiraviy (siklik) chastota bilan sodir bo'ladi. Bu chastota konturning xususiy chastotasi deyiladi, uning qiymati (14.4) ifoda bilan aniqlanadi. Tebranish davri uchun quyidagi formula yozish mumkin:

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{LC}. \quad (14.9)$$

Bu ifoda *Tomson formulasi* deb deyiladi.

§60. Majburiy elektr tebranish tenglamasi. Majburiy tebranish fazasi. Kuchlanish rezonansi. So'nuvchi va majburiy tebranishlar. So'nish koeffitsienti, so'nishning logorifmik dekrementi.

Har qanday real kontur aktib qarshilikka ega bo'ladi. Shuning uchun real konturda kondensatorning razryadlanish jarayonida elektr maydon energiyaining faqat bir qismi magnit maydon energiyasiga aylanadi, qolgan qismi esa aktiv qarshilikdan issiqlik sifatida ajralib chiqadi. Shu kabi, kondensatorning qayta zaryadlanishida magnit maydon energiyasining bir qismi elektr maydon energiyasiga aylanadi, qolgan qismi aktiv qarshilikda issiqlik energiyasiga aylanadi. Demak, real konturda issiqlik energiyasi ajralib uchun erkin tebranishlar so'nuvchi tebranish bo'lar ekan.

So'nuvchi tebranishlar tenglamasini hosil qilish uchun sig'imdagi kuchlanish tushivini $U_C = \frac{q}{C}$, g'altakdagi kuchlanish tushivini $U_L = L \frac{dI}{dt} = L \frac{d^2q}{dt^2}$ va aktiv qarshilikdagi kuchlanish tushivini $U_R = RI = R \frac{dq}{dt}$ ning yig'indisini nolga tenglashtirish kerak, yani:

$$L \frac{d^2q}{dt^2} + R \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = 0. \quad (14.10)$$

bu tenglikni L ga bo'lamiz va quyidagi belgilashdan kiritamiz:

$$\beta = \frac{1}{2} \frac{R}{L}.$$

Natijada (14.10) tenglikni quyidagi ko'rinishga keltiramiz:

$$\frac{d^2q}{dt^2} + 2\beta \frac{dq}{dt} + \omega_0^2 q = 0. \quad (14.11)$$

(14.11) tenglamaning yechimi

$$q = q_{m0} e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi) \quad (14.12)$$

ko'rinishda bo'ladi. Bu erda ω – so'nuvchi elektromagnit tebranishlar siklik chastotasi bo'lib, uning qiymati

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}} \quad (14.13)$$

ga teng bo'ladi. Demak, so'nuvchi tebranishlar chastotasining qiymati ω konturning aktiv qarshiligi R kamaygan sari xususiy tebranishlar chastotasi ω_0 ga yaqinlashib boradi. $R = 0$ bo'lganda esa $\omega = \omega_0$ bo'ladi. Kontur kondensatoridagi kuchlanish

$$U = \frac{q_{m0}}{C} e^{-\beta t} \cdot \cos(\omega t + \varphi) = U_{m0} e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi) \quad (14.14)$$

va konturdagi tok kuchi esa

$$I = \omega_0 q_{m0} e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi + \psi) \quad (14.15)$$

ifodalar orqali topiladi. Oxirgi ifodada

$$\frac{\pi}{2} < \psi < \pi$$

bo'ladi, ya'ni real konturda ($R \neq 0$) tok va kondensatordagi kuchlanish faza bo'icha $\frac{\pi}{2}$ dan kattaroq qiymatga farq qiladi.

Real konturda kondensator qoplamalaridagi zaryad miqdorining vaqtga bog'liqlik grafigi 14.2- rasmda tasvirlangan. U va I larning vaqtga bog'liqlik grafiglari ham shunga o'xshashdir.

Odatda so'nuvchi tebranishlarni, xususan so'nuvchi elektromagnit tebranishlarni ham so'nish darajasini λ so'nishning logarifmik dekrementi

$$\lambda = \ln \frac{q(t)}{q(t+T)} = \beta T \quad (14.16)$$

bilan xarakterlanadi. Bu yerda T — tebranish davri. Tebranish konturini ko'pincha, unung aslligi bilan xarakterlanadi. Konturning aslligi D esa λ so'nishning logarifmik dekrementi bilan quyidagi munosabat asosida bog'langan:

$$D = \frac{\pi}{\lambda} \quad (14.17)$$

Tebranish amplitudasi e marta kamayishi uchun ketgan vaqt ichida sodir bo'lgan tebranishlar soni n_e so'nishning logarifmik dekrementiga teskari kattalik:

$$n_e = \frac{1}{\lambda}.$$

Shuning uchun (14.17) ni quyidagi ko'rinishda ham yozish mumkin:

$$D = \pi n_e. \quad (14.18)$$

Demak, real konturda kondensator qoplamalaridagi zaryadning, yoki kuchlanishning maksimal qiymati ε marta kamayguncha kontur qanchalik kop'roq tebranishga ulgursa, bu konturning aslligi shunchalik katta bo'ladi.

So'nmas tebranishlar mavjud bo'lishi uchun konturga davriy ravishda manbadan zaryad berib turilishi kerak. Bu konturning aktiv qarshiligidan issiqlik energiyasi sifatida ajralib chiqayotgan energiyaini kompensasiyalab turishi kerak va natijada tebranish koturining energiyasi doimiy saqlanadi. Bu esa, tebranishlarning so'nmasligiga sababchi bo'ladi. Bunday tebranishlar majburiy tebranishlar deyiladi.

Majburiy tebranishda kontur aktuv, sigim va induktiv qarshiliklardagi kuchlahish tushishlarining yigindisi nolga teng emas, balki tashqi o'zgaruvchan elektr yurituvchi kuch $\varepsilon = \varepsilon_m \cos \omega t$ ga teng bo'lishi kerak, ya'ni:

$$L \frac{d^2 q}{dt^2} + R \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = \varepsilon_m \cos \omega t \quad (14.19)$$

Bu tenglamaning yechimi majburiy tebranishlarni ifodalaydi. U quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$q = q_m \cos (\omega t - \psi). \quad (14.20)$$

Bunda

$$q = \frac{\varepsilon}{\omega \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}},$$

$$q_m = \frac{\varepsilon_m}{\omega \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}, \quad (14.21)$$

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{R}{\frac{1}{\omega C} - \omega L}. \quad (14.22)$$

Kondensatordagi kuchlanishni topish uchun (14.20) ni C ga bo'lamiz:

$$U = \frac{q_m}{C} \cos(\omega t - \psi) = U_m \cos(\omega t - \psi),$$

bunda

$$U_m = \frac{q_m}{C} = \frac{\varepsilon_m}{\omega C \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} \quad (14.23)$$

(14.20) dan vaqt bo'yicha birinchi tartibli hosila olsak, konturdagi tok kuchini topgan bo'lamiz:

$$I = -\omega q_m \sin(\omega t - \psi) = I_m \cos\left(\omega t - \psi + \frac{\pi}{2}\right),$$

bunda

$$I_m = \omega q_m = \frac{\varepsilon_m}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}, \quad (14.24)$$

yoki, umumiy holda:

$$I = \frac{\varepsilon_m \cos \omega t}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} \quad (14.25)$$

Kuchlanish va toklarning rezonansi. Majburiy tebranishlarni hosil qilish

Majburiy tebranishlar sodir bo'layotgan tebranish konturi kondensator qoplamlaridagi kuchlanishning amplituda qiymatini

$$U_m = \frac{q_m}{C} = \frac{\varepsilon_m}{\omega C \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} \quad (14.26)$$

va konturdan o'tayotgan tok kuchining amplituda qiymatini

$$I_m = \omega q_m = \frac{\varepsilon_m}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} \quad (14.27)$$

hosil qilish, majburiy tebranishlarni vujudga keltirayotgan

$$\varepsilon = \varepsilon_m \cos \omega t \quad (14.28)$$

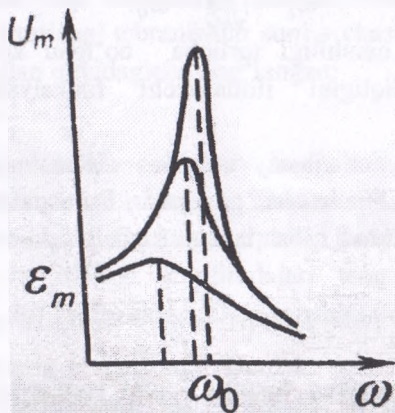
elektr yurituvchi kuchning chastotasiga bog'liq. Tebranish konturi uchun majbur etuvchi elektr yurituvchi kuchningning biror ω_U chastotasida U_m maksimal qiymatga erishadi. Bu hodisa kuchlanish rezonansi deb, ω_U esa rezonans chastota deb ataladi. Kuchlanish rezonansi vaqtidagi rezonans chastotaning qiymati kontur parametrlari (R, L, C lar) orqali quyidagicha ifodalanadi:

$$\omega_U = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{2L^2}}. \quad (14.29)$$

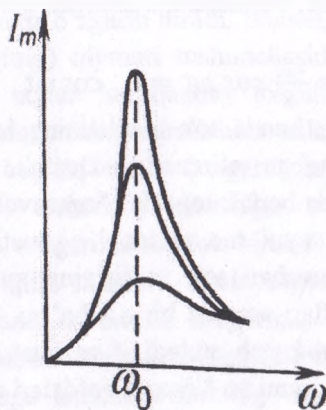
Demak, rezonans chastota, umuman, konturning xususiy chastotasi

$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}$ dan kichik. Lekin konturning aktiv qarshiligi L qarshiligi qanchalik katta bo'lsa (boshqacha qilib aytganda, $\beta = \frac{R}{2L}$ qanchalik kichik bo'lsa), rezonans chastota xususiy chastota ω_0 ga shunchalik

yaqinroq bo'ladi. Bundan tashqari. β kichikroq bo'lgan konturlar uchun U_m ning ω ga bog'liqlik grafigi (14.3 -rasmga qarang) da rezonansdagi maksimum balandroq va o'tkir uchliroq bo'ladi.



14.3 rasm. U_m ning ω ga bog'liqlik grafigi



14.4-rasm. I_m ning ω ga bog'liqligini

Tok kuchuning amplituda qiymati maksimumga erishishi uchun (14.27) ifodaning maxraji nolga intilishi lozim.

Bu esa
$$\omega L = \frac{1}{\omega C}$$

bo'lganda amalga oshadi. Shuning uchun, konturda tok rezonansi sodir bo'lishi uchun majbur etuvchi EYuK. ning chastotasi konturning xusisiy chastotasiga teng bo'lishi lozim, degan xulosaga kelamiz,

$$\omega_I = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \omega_0. \quad (14.30)$$

14.4-rasmda aktiv qarshiligi turlicha bo'lgan konturlar uchun I_m ning ω ga bog'liqligini ifodalovchi funksiyalarning grafiklari tasvirlangan.

Real konturda majburiy so'nmas elektromagnit tebranishlarni hosil qilish usulidan biri lampali generator. Bu usuldan yuqori chastotali o'zgaruvchan toklar hosil qilishda ham foydalanish mumkin.

§61. Tok rezonansi. O'zgaruvchan tok.

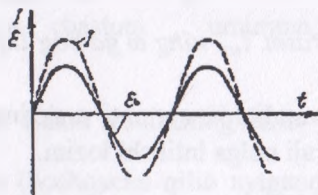
Zanjirdan o'tayotgan tokning kuchi vaqt o'tishi bilan o'zgarib turishi mumkin. Masalan, tok manbaining elektr yurituvchi kuchi davriy ravishda garmonik qonunga asosan ya'ni

$$\varepsilon = \varepsilon_m \cos \omega t. \quad (14.31)$$

qonun bo'yicha o'zgarsa, bu manbaga ulangan qarshilikdan o'tuvchi tok kuchining qiymati

$$I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{\varepsilon_m}{R} \cos \omega t = I_m \cos \omega t \quad (14.32)$$

ifoda bilan aniqlanadi (bunda tok manbaining ichki qarshiligi $r \ll R$ bo'lganligi uchun hisobga olinmadi). Demak, o'zgaruvchan elektr yurituvchi kuch ta'sirida berk konturda o'zgaruvchan tok hosil bo'ladi. O'zgaruvchan tokning ayni momentdagi qiymati uning *oniy qiymati* deyiladi. Agar o'zgaruvchan tok zanjirining ayrim qismlaridagi tok kuchininh oniy qiymatlari amalda bir xil bo'lsa, bunday o'zgaruvchan tokni *kvazistatsionar tok* deb ataladi. Kvazistatsionar toklarning oniy qiymatlari uchun Om qonuni va Kirxgof qoidalari qo'llanilishi mumkin.



14.5-rasm. EYuK va tikning vaqtdan bog'liqlik grafigi

Davriy o'zgaruvchan tokni xarakterlovchi asosiy kattaliklardan biri – davrdir. O'zgaruvchan tokning davri deganda tokning qiymati bir marta to'liq tebranib yana o'zining avvalgi qiymatini va yo'nalishini olishi uchun ketgan vaqt tushuniladi. Davrni, odatda, T harfi bilan belgilanadi. Birlik vaqtidagi tebranishlar soni – chastota (ν) yoki siklik chastota (ω) davr bilan quyidagicha bog'langan:

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}. \quad (14.33)$$

Ikkinchi asosiy kattalik – o'zgaruvchan tokning amplitudasi (I_m) dir. Bu kattalik o'zgaruvchan tok ega bo'lishi mumkin bo'lgan maksimal oniy qiymatni ifodalaydi. Garmonik qonun bo'yicha o'zgarayotgan tokning ikkala yo'nalishdagi amplitudalari teng bo'ladi. Sanoatda qo'llaniladigan tok uchun $T = \frac{1}{50}$ s. Har bir davr mobaynida tok o'z yo'nalishini ikki marta o'zgartiradi. Demak, sanoatdagi tok (kundalik turmushimizda ishlatiladigan tok ham) 1 sekund davomida o'z yo'nalishini 100 marta o'zgartiradi.

Uchinchi asosiy kattalik tok fazasi (ωt) dir. O'zgaruvchan tokning oniy qiymatlari noldan maksimal qiymat (amplituda) gacha bo'lgan intervalda davriy ravishda o'zgarib turadi. Shuning uchun, o'zgaruvchan tokning effektiv (haqiqiy) qiymati tushunchasidan foylaniladi. Uning mohiyatini tushunish uchun har qanday tokning o'tgazgikdan o'tish jarayonida issiqlik miqdorining ajralishini eslaylik. Issiqlik miqdori tokning yo'nalishiga bog'liq emas. O'zgaruvchan tok bir yo'nalishda o'tganda ham, unga teskari yo'nalishiga o'tganda ham issiqlik ajralaveradi. Masalan, o'zgaruvchan tok biror R qarshilikdan o'tganda bir sekundda Q issiqlik miqdori ajralayotgan bo'lsin. Xuddi shu qarshilikdan bir sekund davomida o'zgarmas tok o'tganda ham Q issiqlik miqdori ajralsa, bu ikki tokning issiqlik ta'siri, ya'ni effektivligi bir xil, degan xulosaga kelamiz. Shuning uchun o'zgarmas tokning kuchi o'zgaruvchan tokning effektiv kuchini xarakterlaydi. Garmonik qonun bo'yicha o'zgaruvchan tokning effektiv kuchi tokning amplituda qiymati bilan quyidagicha bog'langan:

$$I_{eff.} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad (14.34)$$

O'zgaruvchan tok zanjiriga ulangan sig'imi C bo'lgan kondisator yoki induktivligi L bo'lgan g'altakning qarshiligi qanday bo'ladi?

1. G'altakdan o'zgaruvchan tok o'tishi natijasida qiymati $L \frac{dI}{dt}$ bo'lgan o'zinduksiya EYuK vujudga keladi. Tok chastotasi qanchalik katta bo'lsa, $\frac{dI}{dt}$ ham shunchalik katta bo'ladi. Demak, g'altakning induktivligi (L) va tok chastotasi (ω) ortgan sari o'zinduksiya EYuK ham ortadi. EYuKning yo'nalishi, Lenst qoidasiga asosan, birlamchi tok yo'nalishiga teskari bo'ladi. Shuning uchun o'zgaruvchan tok zanjiridagi induktivlik tok kuchining kamayishiga, qarshilikning esa oshishiga sababchi bo'ladi.

2. Kandensatorning sig'imi qanchalik katta bo'lsa, zaryadlanish jarayonida uning qoplamalarida shunchalik ko'proq zaryad miqdori to'planadi. O'zgaruvchan tokning chastotasi qanchalik katta bo'lsa, shunchalik qisqa vaqt ichida qoplamalardagi zaryad zanjir orqali o'tadi. Shuning uchun C va ω ortgan sari o'zgaruvchan tokning effektiv qiymati ortadi, zanjirning qarshiligi esa kamayadi. Garmonik qonun bo'yicha o'zgaruvchi tok zanjiridagi induktiv qarshilikning qiymati.

$$X_L = \omega L \quad (14.35)$$

va sig'im qarshilikning qiymati

$$X_C = \frac{1}{\omega C} \quad (14.36)$$

ifodalar bilan aniqlanadi. Bu ikki qarshilikni, odatda, **reaktiv qarshilik** deb ataladi.

Reaktiv qarshiliklar kondensator va g'altakning ω chastota bilan xarakterlanuvchi o'zgaruvchan tokka ko'rsatayotgan qarshiligidir. Agar tok o'zgarmas bo'lsa (ya'ni $\omega = 0$ bo'lsa), (14.35) va (14.36) ifodalarga asosan

$$X_L = 0, \quad X_C = \infty$$

qiymatlarga ega bo'ladi. Demak, induktivlik o'zgarmas tokka qarshilik ko'rsatmaydi, ya'ni o'zgarmas tok zanjiridagi g'altakning qarshiligi faqat g'altak simlarining aktiv qarshiligidan iborat bo'ladi. O'zgarmas tokka sig'imning ko'rsatadigan qarshiligi cheksiz katta bo'lganligi uchun kondensatordan o'zgarmas tok o'ta olmaydi.

Magnit maydonida aylanayotgan konturda induksiya elektr yurituvchi kuchi vujudga kelishidan texnikada o'zgaruv elektr toki olishda foydalaniladi.

Magnit maydonida qo'zg'almas o'q atrofida tekis aylana oladigan to'g'ri burchakli turt burchak shakldagi, S yuzali, yassi konturni ko'rib chiqamiz.

Magnit maydoni bir jinsli, induksiya $B = \text{const}$, kontur $\omega = \text{const}$ burchak tezlik bilan tekis aylansa, vaqtning ixriyoriy paytida magnit oqimi quyidagicha bo'ladi,

$$\Phi = BScos\varphi = BScos\omega t. \quad (14.37)$$

Kontur aylanganda Φ oqim davriy ravishda o'zgarib turadi. Suning uchun konturda, Faradey elektromagnit induksiya qonuniga muvofiq, davriy o'zgaruvchi induksiya EYuK hosil bo'ladi:

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi}{dt} = \omega BS \sin\omega t, \quad (14.38)$$

bu yerda, $\mathcal{E}_m = \omega BS$ — induksiya EYuK ning amplitude qiymati, (14.38) fomulani o'zgartirib boshqacha ko'rinishda yozaylik,

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_m \sin\omega t \quad (14.39)$$

Agar bir jinsli magnit maydonida kontur teks aylansa, unda sinus qonuni bo'y sinuvcha o'zgaruvchan elektr yurituvchi kuch vujudga keladi. Bu EYuK konturda sinusonidal o'zgaruvchan tok hosil qiladi, ya'ni

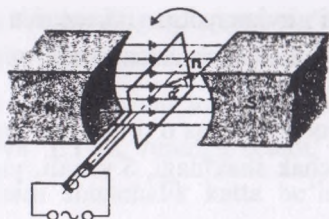
$$I = \frac{\mathcal{E}}{R_0} = \frac{\mathcal{E}_m}{R_0} \sin\omega t = I_m \sin\omega t,$$

yoki

$$I = I_m \sin\omega t. \quad (14.40)$$

Bunda $I_m = \frac{\mathcal{E}_m}{R_0}$ — tok kuchining amplitude quymati, R_0 — kontur qarshiligi. Agar umumiy tok zanjiri aktiv qarshilikdan iborat bo'lmasdan, reaktiv qarshiliklari han mavjud bo'lsa, o'zgaruvchan tok kuchlanishga nisbatan faza jihatidan biror φ burchakka siljib qoladi, ya'ni:

$$I = I_m \sin(\omega t + \varphi). \quad (14.41)$$



14.6–rasm. O‘zgaruvchan tok hosil qilish

O‘zgaruvchan tok deb vaqt o‘tishi bilan tok kuchining kattaligi va yo‘nalishini davriy ravishda o‘zgartirib turadigan tokka aytiladi

O‘zgaruvchan tok shuningdek, tok davri – T va tok chastotasi – ν bilan ham xarakterlanadi, u holda $\omega = 2\pi/T = 2\pi\nu$. Bundan:

$$I = I_m \sin \omega t = I_m \sin (2\pi \nu t) = I_m \sin \left(\frac{2\pi}{T} t \right). \quad (14.42)$$

Demak, o‘zgaruvchan tok deb sinuslar yoki cosinuslar qoidasiga bo‘y sinuvchi tokka aytiladi.

O‘zbekistonda o‘zgaruvchan tokning standart texnik chastotasi 50 Hz, AQSH da esa 60 Hz.

O‘zgaruvchan tokni hosil qilidigan qurilma **o‘zgaruvchan tok generatoridir**. Mexanik energiyani elektroagnit induksiya hodisasi yordamida elektr energiyasiga aylantirib beruvchi mashinalar induksion generatorlar deyiladi. O‘zgaruvchan tokni hosil qiluvch tok generatori rotor (ramka) va statordan tashkil topgan, boshqa turdagi energiyalarni elektr energiyasiga aylantirib beradigan oddiy qurilmadir. O‘zgaruvchan tok generatorining asosiy elementlari: 1 – magnit naydon hosil qiluvchi inductor; 2 – yakor (EYuK induksiyalanadigan o‘tkazgich); 3 – metal halqalar va 4 – qo‘zg‘almas o‘tkazgichni aylanuvchi o‘tkazgich bilan ulaydigan cho‘tk. O‘zgarmas tok generatorining o‘zgaruvchan tok generatoridan farqi faqat halqa o‘rnida kollektor ishlatilishidir. Kollektor deb, sektorlarga bo‘lib, bir–biridan izolyatsiyalangan halqaga aytiladi. Rotorining n ta ramkasi (o‘ramlari) bo‘lib, uning har birida induksiya elektr yurituvchi kuch hosil bo‘lishini inobatga olib quyidagi ifodani yozich mumkin ya’ni;

$$\mathcal{E} = -n \frac{d\Phi}{dt} = n\omega BS \sin \omega t = n\mathcal{E}_m \sin \omega t, \quad (14.43)$$

bunda n – rotor g‘altagingining o‘ramlarining soni.

Sinusoidal o'zgaruvchan tokda kuchlanish va tokning bitta davridagi o'rtacha qiymati nolga teng. Biroq, bitta davrdagi tok kuchining o'rtacha kvadratik qiymati noldan farqlidir. Chunki o'zgaruvchan tok kuchining effektiv (haqiqiy) I_{ef} qiymati I_m dan $\sqrt{2}$ marta kichik ekanligini inobatga olinadi, ya'ni

$$I_{ef} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}. \quad (14.44)$$

Shunga o'xshash, o'zgaruvchan tok kuchlanish U_{ef} va EYuK ε_{ef} larning effektiv qiymatlarini yozish mumkin:

$$U_{ef} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \text{ va } \varepsilon_{ef} = \frac{\varepsilon_m}{\sqrt{2}}. \quad (14.45)$$

Majburiy elektromagnit tebranishlarni kondensator, induktivlik g'aldagi va aktiv qarshiligi bo'lgan zanjirdan o'zgaruvchan tok o'tish holı sifatida qarash mumkin. O'zgaruvchan tokni kvazistasionar deb qarash mumkin, ya'ni u uchun tokning oniy qiymati zanjirning hamma qismida amalda bir xil bo'ladi, chunki ularning o'zgarishi juda sekin bo'ladi va elektromagnit qo'zgalish zanjir bo'ylab yorug'lik tezligiga teng tezlik bilan tarqaladi. Kvazistasionar tokning oniy qiymati uchun Om qonuni, hamda undan kelib chiquvchi va o'zgaruvchan tok uchun qo'llanilishi mumkin bo'lgan Kirxgof qonuni o'rinli bo'ladi.

§62. O'zgaruvchan tok zanjirida qarshilik, sig'im va induktivlik.

Induktivlik g'altak, kondensator va aktiv qarshilikdan iborat zanjir o'zgaruvchan kuchlanish manbaiga ulanganda bo'ladigan jarayonlarni qarab chiqamiz. Kuchlanish quyidagicha qonun bilan o'zgarsin

$$U = U_m \cos \omega t, \quad (14.46)$$

bunda U_m — kuchlanish amplitudasi.

Aktiv qarshilik R orqali o'tuvchan tokni qraylik. Kvazistasionarlik sharti bajarilganda aktiv qarshilik orqali o'tuvchi tok Om qonuni yordamida aniqlanadi:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{U_m}{R} \cos \omega t = I_m \cos \omega t \quad (14.47)$$

bunda I_m tok kuchining amplituda qiymatidir.

Induktivlik g'altagi L orqali o'tuvchi o'zgaruvchan tok. Agar zanjirga o'zgaruvchan kuchlanish ulangan bo'lsa. U holda undan o'zgaruvchan tok oqadi va natijada o'zinduksiya EYuK hosil bo'ladi,

$\mathcal{E}_s = L \frac{dI}{dt}$. U holda zanjirning qaralayotgan qismi uchun Om qonuni quyidagi ko'rinishda bo'ladi: $U_m \cos \omega t - L \frac{dI}{dt}$, bundan esa

$$L \frac{dI}{dt} = U_m \cos \omega t. \quad (14.48)$$

Tashqi kuchlanish induktivlik g'altagiga qo'yilganligi uchun $U_L = U_m \cos \omega t$ bo'ladi. Yuqoridagi ifodalarni inobatga olib quyidagi tenglikni yozish mumkin;

$$U_L = L \frac{dI}{dt} \quad (14.49)$$

bo'lib unga g'altakdagi kuchlanish tushuvchi deyiladi. (14.48)

tenglamadan ko'rinadiki $dI = \frac{U_m}{L} \cos \omega t dt$ (14.50)

yoki integrallangandan so'ng, integralash doimiysi nolga teng ekanligini etiborga olib, quyidagini hosil qilami:

$$I = \frac{U_m}{\omega L} \sin \omega t = \frac{U_m}{\omega L} \cos \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) = I_m \cos \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) \quad (14.51)$$

bunda $I_m = \frac{U_m}{\omega L}$ — tok kuchining amplitudasi, $R_L = \omega L$ kattalika reaktiv yoki induktiv qarshilik deyiladi. (14.51) formuladan ko'rinadiki, o'zgarmas tokga induktivlik g'altagi qarshilik ko'rsatmaydi. $U_m = \omega L I_m$, qiymatini etiborga olsak, u holda induktiv g'altakdagi kuchlanishning tushuvi quyidagiga teng bo'ladi:

$$U_L = \omega L I_m \cos \omega t \quad (14.52)$$

va (14.51) ifodalarni taqqoslash quyidagi xulosaga olib keladi: U_L kuchlanishning tushuvi g'altak orqali oquvchi I tokdan faza jihatdan $\frac{\pi}{2}$ ga oldin yuradi.

Sig'imi C bo'lgan kondensator orqali o'tuvchi tok. Agar o'zgaruvchan kuchlanish kondensatorga ulangan bo'lsa u holda har doim qayta zaryadlanib zanjir orqali o'zgaruvchan tok oqadi. Hamma tashqi kuchlanish kondensatorga qo'yilganligi uchun quyidagini yozish mumkin:

$$\frac{Q}{C} = U_c \cos \omega t. \quad (14.53)$$

Tok kuchi esa,

$$I = \frac{dQ}{dt} = -\omega C U_m \sin \omega t = I_m \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right). \quad (14.54)$$

Tok kuchi

$$eI_m = \omega C U_m = \left(\frac{U_m}{\frac{1}{\omega C}} \right) \quad (14.55)$$

$R_c = 1/\omega c$ –kattalikga reaktiv yoki *sig'im qarshilik* deyiladi. O'zgarmas tok kondensator orqali o'ta olmaydi. Kondensatordagi kuchlanishning tushuvi

$$U_c = \frac{1}{\omega c} I_m \cos \omega t. \quad (14.56)$$

(14.53) va (14.54) ifodalarni taqqoslash quydagi xulosaga olib keladi. U_c kuchlanishning tushuvchi kondensatori orqali o'tuvchi I tokdan faza jihatidan $\frac{\pi}{2}$ ga orqada qoladi.

§63. O'zgaruvchan tok zanjirida to'la qarshilik - impedans.

Aktiv qarshiligi R , reaktiv qarshiligi (X_L va X_C) bo'lgan o'zgaruvchan tok

zanjirining umumiy qarshiligi

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2} \quad (14.57)$$

ga teng bo'ladi. Bu kattalikka *to'la qarshilik* deyiladi. Bu yerda

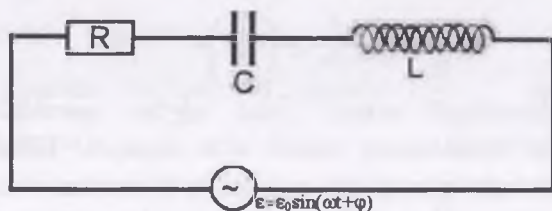
$$X = R_L - R_C = \omega L - 1/\omega C$$

reaktiv qarshilik deyiladi.

Shuni qayd etamizki, bu qarshilik qarshiliklar: R , R_L va R_C qarshiliklarning arifmetik yig'indisiga teng emasdir. Bundan tashqari R_L yoki R_C reaktiv qarshiliklardan biri oshganda, to'la qarshilik kamayishi mumkin. Om qonunlari va shu bilan birga ketma-ket ulangan aktiv, sig'im va induktiv qarshiliklar hamda o'zgaruvchan kuchlanish va EYUK- $[\varepsilon(t) = \varepsilon_0 \sin(\omega t + \varphi)]$ bilan birgalikda ketma-ket ulangan butun zanjir uchun Om qonuni deyiladi.

$U = \varepsilon$ bo'lgan uchun U_0 ni ε_0 bilan almashtirsak, butun zanjir uchun Om qonuni kelib chiqadi:

$$I = \frac{\varepsilon}{\sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{\omega C} \right)^2}}$$



14.7-rasm. O'zgaruvchan tok zanjiri

§64. O'zgaruvchan tok zanjiri uchun Om qonuni.

Aktiv qarshilik R , sig'imi C bo'lgan kondensator va induktivligi L bo'lgan g'altaklardan tashkil topgan zanjir keltirilgan bo'lib, uning uchlariga o'zgaruvchan kuchlanish ulangan. O'zaro ketma-ket ulangan induktiv g'altak, kondensator va aktiv qarshilikdan iborat o'zgaruvchan tok zanjiri uchun Om qonuni quyidagicha bo'ladi, agar undagi kuchlaninish $U = U_m \cos \omega t$ qonuniyat bo'yicha o'zgarayotgan bo'lsa,

$$I = \frac{U_m \cos \omega t}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}} \quad (14.58)$$

bo'ladi.

Zanjir orqali o'zgaruvchan tok oqib zanjirning hamma elementlarida mos ravishda U_R, U_L, U_C kuchlanishlar tushuvchi hosil qiladi. Zanjirga qo'yilgan kuchlanishning amplituda qiymati U_m shu kuchlanish tushuvlari amplituda qiymatlarining geometrik yig'indisiga tengdir. Tok kuchining amplituda qiymatining ifodasi quyidagicha bo'ladi,

$$I_m = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}} \quad (14.59)$$

Demak, zanjirdagi kuchlanish

$$U = U_m \cos \omega t \quad (14.60)$$

qonun bilan o'zgarsa, u holda zanjir orqali

$$I = I_m \cos(\omega t + \varphi) \quad (14.61)$$

tok oqadi.

Agar o'zgaruvchan tok zanjirida aktiv qarshilik, induktiv g'altak va kondensator o'zaro ketma - ket ulangan bo'lsa va

$$\omega L = 1/\omega C \quad (14.62)$$

shart bajarilsa u holda tok kuchi bilan kuchlanish orasidagi faza siljishi nolga teng bo'ladi, ya'ni tok kuchi va kuchlanishning fazalari bir xil fazada bo'ladi. (14.62) dan

$$\omega_{rez} = 1/\sqrt{LC}. \quad (14.63)$$

formulagan $\omega_{tez} \approx 2\pi\nu = 2\pi/T$ ekanligini inobatga olib rezonans davri T ni topish mumkin:

$$T = 2\pi\sqrt{LC} \quad (14.64)$$

Bu rezonans holatda zanjirning to'la qarshiligi Z eng kichik bo'lib, u aktiv qarshilikga teng bo'ladi va zanjirdagi tok eng katta qiymatga erishib aktiv qarshilik bilan aniqlanadi. Aktiv qarshilikdagi kuchlanish tushuvi zanjirga qo'yilgan tashqi kuchlanishga teng bo'ladi, ya'ni $U_R = U$, kondensatordagi U_C va induktiv g'altakdagi U_L kuchlanish tushuvlari amplituda qiymatlari jihatidan bir xil bo'lib faza jihatidan qarama-qarshi bo'ladi. Bu hodisaga kuchlanish rezonasi, chastota esa rezonans chastotasi deyiladi. Kuchlanishlar rezonans uchun

$$U_{L,rez} = U_{C,rez}.$$

Shu sababli bu formulaga rezonans chastota va induktiv g'altakdagi, hamda kondensatordagi kuchlanishning amplituda qiymatini qo'yib, quyidagini olamiz

$$U_{L,rez} = U_{C,rez} = \sqrt{\frac{L}{C}} I_m = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} U_m = \chi U_m \quad (14.65)$$

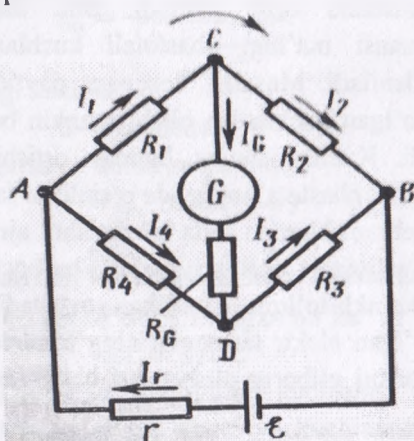
bu yerda χ — tebranish konturining asilligi. Odatdagi tebranish konturining asilligi birdan katta bo'lgani uchun ham induktiv g'altakdagi, ham kondensatordagi kuchlanish zanjiriga qo'yilgan umumiy kuchlanishdan ortiq bo'ladi. Shu sababli, texnikada kuchlanishlar rezonansi ma'lum chastotali kuchlanish tebranishini kuchaytirishda qo'llaniladi. Masalan, rezonans paytida kondensatorda amplitudasi χU_m bo'lgan kuchlanish olish mumkin bo'lib, bu U_m dan ancha katta bo'ladi. Kuchlanishning bunday ortishi faqat rezonans chastotaga yaqin kichik chastota oralig'ida o'rinli bo'ladi va shu sababli ko'plab chastotali tebranishlardan bitta tebranishni ajratish mumkindir. Shu hodisa asosida televizor, radiopriyomnik ba boshqa to'liq qabul qilgich qurilmalari kerakli to'liq uzunlikga sozlanadi. Kondensator va induktiv g'altak bo'lgan elektr tarmoqlarining himoyasini hisoblashda kuchlanishlar rezonansni etiborga olish zarur, chunki aks holda ularning teshilishi yuz beradi.

Hozirgi vaqtda elektr tokidan foydalanmaydigan sohaning o'zi yo'q desak adashmaymiz. Qishloq xo'jalik mahsulotlarini quritish, ipak qurtini va dorivor o'simliklarni quritish, ularni navlar bo'yicha ajratib olish, ekinlarni tomchilatib sug'orish, mahsulotlarni zararli qo'shimchalardan ajratib olish turli xil dori-darmonlar tayyorlash va sohaning boshqa yo'nalishlarida elektrdan foydalanilmoqda. Elektr energiyasiz hayotni tasavvur qilish qiyin bo'lib qoldi. Shu sababli bu sohani har bir mutaxassis bilishi zarurdir.

§65. Potensiometrlar. Uitston ko'prigi.

Potensiometr - magnit maydon kuchlanganligi, ya'ni 2 nuqta orasidagi potentsiallar farqi (yoki magnit yurituvchi kuch) ni o'lchash uchun, elektr zanjiridagi EYuK yoki kuchlanishni o'lchash uchun mo'ljallangan elektr asbobi. O'zgarmas va o'zgaruvchan tok bilan ishlaydigan, elektron avtomat xillari bor. Potensiometr tarkibiga qarshilik, galvanometr va normal element (galvani elementi) kiradi. Elektr zanjirining kirish qismiga kuchlanishning ma'lum qismini (qarshilikni) tekis rostlab beradigan asbob. Kuchlanish taqsimlagichi deb ham ataladi. Radiotexnika, elektrotexnika, o'lchash texnikasi, avtomatik tizimlar va boshqalarda ishlatiladi;

Eng oddiy potensiometr bu Uitson ko'prigidir. Uning tuzilishi 14.8 - rasmda tasvirlangan. Bunda R_1 , R_2 , R_3 va R_4 qarshiliklar ko'prinking elkalarini tashkil qiladi



14.8-rasm. Uitsonning noma'lum qarshilikni o'lchash qurilmasi

Chizmadagi A va B nuqtalar orasiga ichki qarshiligi r bo'lgan ε -EYuK manbai ulangan. C va D nuqtalar orasiga esa qarshiligi R_G bo'lgan galvometr ulangan.

A,B,C, tugunlar uchun Kirxgof qonunini qo'llab quyidagilarni olamiz

$$\begin{aligned} I_r - I_1 - I_2 &= 0 \\ I_2 + I_3 - I_r &= 0 \\ I_1 - I_2 - I_G &= 0 \end{aligned} \quad (14.66)$$

Kirxgofning ikkinchi qonuniga binoan ACBεA, ACDA, CBDC konturlar uchun quyidagilarni yozish mumkin

$$\begin{aligned} I_r r + I_1 R_1 + I_2 R_2 &= \varepsilon \\ I_1 R_1 + I_G R_G - I_4 R_4 &= 0 \\ I_2 R_2 - I_3 R_3 - I_4 R_4 &= 0 \end{aligned} \quad (14.67)$$

Agar zanjirdagi hamma qarshiliklar va EYuK lar malum bo'lsa, zanjirdagi nomalum tok kuchini toppish mumkin. R_2, R_3, R_4 qarshiliklarni o'zgartirish yo'li bilan galvometrdan o'tadigan tokni nolga keltirish mumkin, u hold (14.66) dan

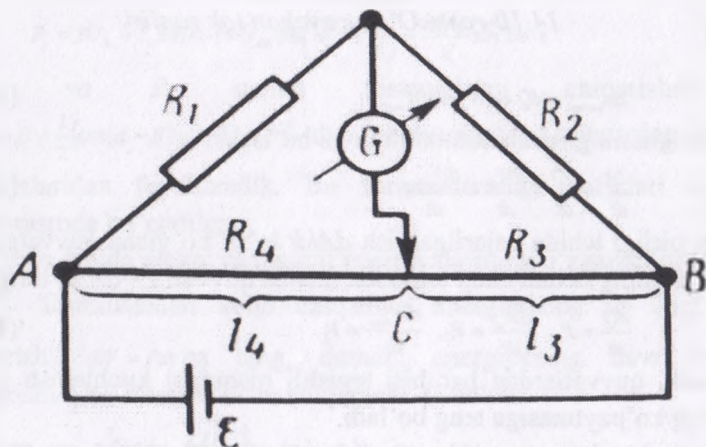
$$I_1 = I_2, \quad I_3 = I_4 \quad (14.68)$$

Xuddi shunday (14.67) dan quyidagini olamiz

$$I_1 R_1 = I_4 R_4, \quad I_2 R_2 = I_3 R_3 \quad (14.69)$$

(14.68) va (14.69) ifodalardan quyidagini olamiz

$$R_1 = \frac{R_2 R_4}{R_3} \quad (14.70)$$



14.9 – rasm. Reaxordli Uitson ko'prigi

Shundayn qilib, ko'prikda muvozonat bo'lsa, izlanayotgan qarshilikni toppish mumkin, bu holda galvanometr va EYuKning ichki qarshiligidan ahamiyati yo'q.

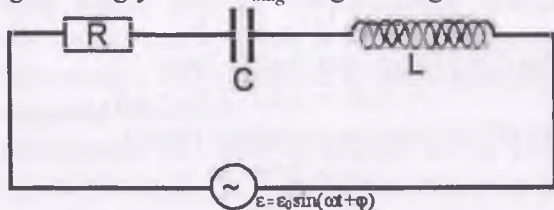
Amalda reaxordli Uitson ko'prigi ishlatiladi (14.9 –rasm), yani bu holda reaxord uzunligini bilish talab qilinadi. Demak

$$R_1 = \frac{R_2 L_4}{L_3} \quad (14.71)$$

L_3 va L_4 uzunliklarni reaxorddan oson o'lchab olish mumkin, u holda (14.71)dan nomalum qarshilikni o'lchab olish mumkin.

§66. O'zgaruvchan tok quvvati. Quvvat koeffitsienti. Tok generatorlari.

O'zgaruvchan tok zanjirda (14.10-rasm) energiyaning bir turdan boshqa turga aylanishini qarab chiqaylik. Tashqi kuchlarning dt vaqt ichida bajargan ishi dA_{tashqi} aktiv qarshilikdan issiqlik energiya dQ ajralib chiqishga ketadi, shuningdek kondensatorning energiyasi dW_e va g'altakning magnit energiyasini dW_{mag} o'zgartirishga ketadi.



14.10-rasm. O'zgaruvchan tok zanjiri

$$dA_{tashqi} = dQ + dW_e + dW_{mag} \quad (14.72)$$

Bu tenglikning ikkala tomonini dt ga bo'lsak,

$$\frac{dA}{dt} = \frac{dQ}{dt} + \frac{dW_e}{dt} + \frac{dW_{mag}}{dt} \quad (14.73)$$

Vaqt birligi ichida bajarilgan ish dA/dt ta'rif bo'yicha quvvatga teng bo'ladi, shuning uchun chap tomonda manba quvvati $P = dA/dt$ turadi:

$$\frac{dQ}{dt} = P_R, \quad \frac{dW_e}{dt} = P_C, \quad \frac{dW_{mag}}{dt} = P_L \quad (14.74)$$

Demak, quvvatlardan har biri tegishli qismdagi kuchlanish va tok kuchining ko'paytmasiga teng bo'ladi.

Haqiqatdan ham, $\varepsilon = A/dq$, $Q = I^2 Rt$, $U = RI$, $W = CU^2/2$ va $W = LI^2/2$ formuladan foydalanib quyidagiga ega bo'lamiz:

$$P_{\text{haqiqiy}} = \frac{dA_{\text{magnit}}}{dt} = \frac{\varepsilon dq}{dt} = I\varepsilon \quad (14.75)$$

$$P_R = \frac{dQ}{dt} = \frac{IU_R dt}{dt} = IU_R \quad (14.76)$$

$$P_C = \frac{dW_C}{dt} = \frac{d\left(\frac{CU_C^2}{2}\right)}{dt} = \frac{2CU_C dU_C}{2dt} = \frac{CU_C d\left(\frac{q}{C}\right)}{dt} = \frac{U_C dq}{dt} = IU_C \quad (14.77)$$

$$P_L = \frac{dW_{\text{magn}}}{dt} = \frac{d\left(\frac{LI^2}{2}\right)}{dt} = \frac{2LI dl}{2dt} = I\left(\frac{L dl}{dt}\right) = IU_L \quad (14.78)$$

Shunday qilib, energiyaning saqlanish qonuni quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\underbrace{I\varepsilon}_{P_{\text{haqiqiy}}} = \underbrace{IU_R}_{P_R} + \underbrace{IU_C}_{P_C} + \underbrace{IU_L}_{P_L} \quad (14.79)$$

Bu ifodani I ga bo'lsak, Kirxgofning ikkinchi qonuniga ega bo'lamiz, demak bu qonun energiyaning saqlanish qonunining natijasi ekanligiga ishonch hosil qilamiz.

Tok kuchi uchun $I = I_0 \sin \omega t$ ifodani qo'llab, U_R , U_C va U_L kuchlanishlarning o'zgarishini hisobga olsak, tegishli quvvatlar uchun quyidagi ifodalarni topamiz:

$$P_R = IU_R = I_0 \sin \omega t \times U_R \sin \omega t = I_0 U_R \sin^2 \omega t \quad (14.80)$$

$$P_C = IU_C = I_0 \sin \omega t \times U_{C0} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) = \frac{I_0 U_C}{2} \sin(2\omega t - \pi) \quad (14.81)$$

$$P_L = IU_L = I_0 \sin \omega t \times U_{L0} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = \frac{I_0 U_C}{2} \sin 2\omega t \quad (14.82)$$

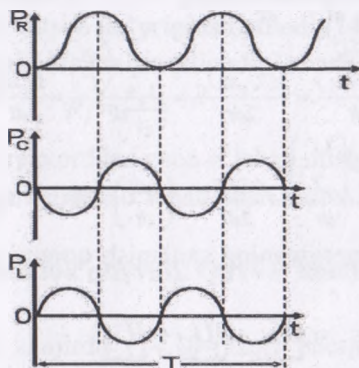
R_C va R_L uchun formulalarni chiqarishda biz $\sin \alpha \sin \beta = \frac{1}{2} [\cos(\alpha - \beta) - \cos(\alpha + \beta)]$ dan va kosinus va sinusning keltirish formulalaridan foydalandik. Bu formulalarning grafiklari quyidagi 14.11-rasmda ko'rsatilgan.

T davr ichida elektr va magnit energiyalarining o'zgarishini topamiz.

$P = \frac{dW}{dt}$ formulasidan kelib chiqadiki, energiyaning dt vaqt ichida o'zgarishi $dW = P dt$ ga teng, demak, energiyaning davr bo'yicha o'zgarishi $\int P dt$ integral bilan aniqlanadi. U holda:

$$\Delta W_d = \int_0^T P_C dt = \frac{I_0 U_{C0}}{2} \int_0^T \sin(2\omega t - \pi) dt = 0 \quad (14.83)$$

$$\Delta W_{\text{magn}} = \int_0^T P_L dt = \frac{I_0 U_{L0}}{2} \int_0^T \sin 2\omega t dt = 0 \quad (14.84)$$



14.11-rasm. Quvvatlarning vaqtga bog'liqlik grafiklari

Shunday qilib, elektrik va magnit maydon energiyalarining davr bo'yicha o'zgarishi va shu bilan birga o'rtacha quvvatlar $\bar{P}_N$ va $\bar{P}_L$ ($\bar{P} = \int_0^T \frac{P dt}{T}$ bilan aniqlanadi) nolga teng: $\bar{P}_N = \bar{P}_L = 0$. Kondensator tomonidan davrning ulushlarida qancha energiya olsa, shu vaqtda unda shuncha miqdorda elektr maydoni energiyasi oshadi ($\bar{P}_N > 0$), xuddi shuncha energiya kondensatorga qaytadi. Shu davr ulushlarida, elektr maydon energiyasi kamayadi ($\bar{P}_N < 0$). Xuddi shunday hol g'altakning magnit maydoni energiyasi uchun ham sodir bo'ladi. Demak, sig'imli va induktivli zanjir qismlarida energiya to'planmaydi va zanjirdan ajralib ham chiqmaydi. Shu sababga ko'ra, $\bar{P}_N$ va $\bar{P}_L$ quvvatlar va shu qarshiliklar (R_C va R_L) ga reaktiv deb aytiladi.

R qarshilikli sohada boshqacha bo'ladi. Bu yerda ham T davr ichida ajralib chiqqan issiqlik miqdori ΔQ ni, shunindek o'rtacha quvvat $\bar{P}_R$ ni topamiz:

$$dQ = \int_0^T P_R dt = I_0 U_{R0} \int_0^T \sin^2 \omega t dt = \frac{I_0 U_R T}{2} \quad (14.85)$$

yoki

$$\bar{P}_R = \int_0^T P_R dt = \frac{I_0 U_R}{2} \quad (14.86)$$

Bu qismda zanjirdan uzluksiz ravishda energiya ajralib chiqadi (o'rtacha $\frac{I_0 U_R}{2}$). Shu sababli quvvat $\bar{P}_R$ va shu bilan birga qarshilik R ga aktiv deyiladi.

Om qonunidan ($U_R = RI_0$) va $U_R = U_0 \cos \varphi$ dan foydalanib, o'rtacha aktiv quvvatni bir necha shakllarda yozamiz:

$$\bar{P}_R = \frac{I_0 U_R}{2} = \frac{I_0^2 R}{2} = \frac{I_0 U_0 \cos \varphi}{2} \quad (14.87)$$

T vaqt ichida ajralib chiqqan issiqlik:

$$\Delta Q = \bar{P}_R T = \frac{I_0^2 R T}{2} \quad (14.88)$$

Joul-Lens qonuni ($Q = I^2 R t$) ga ko'ra, xuddi shunday issiqlik miqdori shu qarshilikda T vaqt ichida doimiy tok kuchi $I = \frac{I_0}{\sqrt{2}}$ o'tganda ham ajralib chiqar edi:

$$\Delta Q = I_{eff}^2 R T = \frac{I_0^2 R T}{2} \quad (14.89)$$

Doimiy tok tomonidan ham shu vaqt ichida (T davr) o'zgaruvchan tokda ham teng issiqlik miqdori aktiv qarshilikda ajralib chiqsa, unga ta'sir etuvchi yoki o'zgaruvchan *tokning effektiv qiymati* deb aytiladi. Tok kuchining ta'sir etuvchi qiymati $\sqrt{2}$ marta uning amplituda qiymatidan kichikdir. Xuddi shunday, $U_{eff} = \frac{U_0}{\sqrt{2}}$ kattalik ham, $\varepsilon_{eff} = \frac{\varepsilon_0}{\sqrt{2}}$ kattalik ham kuchlanish va EYuKning *ta'sir etuvchi qiymati* deb ataladi. Shuni alohida qayd qilamizki, tok kuchi va kuchlanishning amplituda qiymatlari uchun Om qonunlari o'rinli bo'ladi, ta'sir etuvchi qiymatlari uchun ham, chunki bir xil ko'paytiruvchilar, $\sqrt{2}$ tenglikning ikkala qismida ham qisqarib ketadi.

Tok kuchi va kuchlanishning ta'sir etuvchi qiymatlari orqali yozamiz:

$$\bar{P}_R = I_{eff} U_{eff} = I_{eff}^2 R = I_{eff} U_{eff} \cos \varphi \quad (14.90)$$

To'la kuchlanish va tok kuchi o'rtasidagi fazalar farqining kosinusi *quvvat koeffisienti* deyiladi. Quvvat koeffisienti $\cos \varphi$ zanjirning xarakteriga bog'liq. Sof aktiv qarshilikli zanjir uchun

$$\varphi = 0 \text{ va } \cos \varphi = 1, P = I_{eff} U_{eff} = I_{eff}^2 R = \frac{U_{eff}^2}{R} \quad (14.91)$$

Sof sig'im va sof induktiv qarshilikli zanjir uchun $\cos\varphi=0$, bu vaqtda o'rtacha qiymat nolga teng bo'ladi. Buning sababi shundaki, kuchlanish va tok kuchlari faza jihatdan davrning to'rtidan bir qismiga farq qiladi; kuchlanish nolga teng bo'lganda, tok kuchi maksimal qiymatga erishadi yoki aksincha.

Agar sanoat elektr tarmoqlariga fazalar farqini katta miqdorga o'zgartiradigan qurilmalar ulangan bo'lsa, tarmoqda foydasiz quvvatni kamaytirish uchun bunday qurilmaga induktivlik yoki sig'im ulanadi, natijada fazalar farqi kamayadi, $\cos\varphi$ oshadi.

Amaliyotda EYuKning berilgan qiymatida berilgan qarshilikda maksimal quvvat olish talab qilinadi. $L\omega - \frac{1}{\omega C} = 0$ bo'lganda zanjirning to'la qarshiligi R_R ga teng bo'ladi yoki $U_L + U_C = 0$ va $U = U_R$ bo'ladi, butun berilgan kuchlanish aktiv qarshilik qismga to'g'ri keladi. Bu vaqtda $\varphi=0$, $\cos\varphi=1$ bo'ladi.

Mavzu yuzasidan testlar

1. Tebranish konturi $C = 2,22 \cdot 10^{-9} \text{ F}$ sig'imi kondensator va $0,5 \text{ mm}$ diametrli mis simdan o'ralgan g'altakdan iborat. G'altakning uzunligi 20 cm . Tebranishning so'nish logarifmik dekrementi topilsin.

$$A) \lambda = \frac{8\rho\sqrt{\pi/C}}{d^2\sqrt{\mu_0\mu}} = 0,018 \quad B) \lambda = \frac{8\rho\sqrt{\pi/C}}{d^2\sqrt{\mu_0\mu}} = 0,058$$

$$C) \lambda = \frac{8\rho\sqrt{\pi/C}}{d^2\sqrt{\mu_0\mu}} = 0,048 \quad D) \lambda = \frac{8\rho\sqrt{\pi/C}}{d^2\sqrt{\mu_0\mu}} = 0,011$$

2. Maydonning elektr induksiyasi ifodasini toping

$$A) D = \varepsilon_0 \varepsilon E \quad B) B = \varepsilon_0 \varepsilon H \quad C) D = \varepsilon_0 \varepsilon B \quad D) D = \varepsilon_0 \varepsilon J$$

3. R aktiv qarshilik va L induktivlik 127 V kuchlanishli va 50 Hz chastotali o'zgaruvchan tok zanjiriga parallel ulangan. Zanjir 404 W quvvatni iste'mol qiladi hamda kuchlanish bilan tok o'rtasidagi fazalar siljishi 60° , R aktiv qarshilik bilan L induktivlikni toping.

$$A) 40 \Omega; 0,074 \text{ Gn} \quad B) 60 \Omega; 0,024 \text{ Gn}$$

$$C) 50 \Omega; 0,094 \text{ Gn} \quad D) 30 \Omega; 0,74 \text{ Gn}$$

4. O'zgaruvchan tok va kuchlanishning effektiv qiymatlarini aniqlovchi ifodalarini toping (J_m va U_m - tok va kuchlanishning amplituda qiymatlari):

$$A) J_{\text{ef}} = \frac{2}{\pi} J_m \text{ ba } U_{\text{ef}} = \frac{2}{\pi} U_m; \quad B) J_{\text{ef}} = \sqrt{2} J_m \text{ ba } U_{\text{ef}} = \sqrt{2} U_m;$$

$$C) J_{\text{ef}} = \frac{\pi}{2} J_m \text{ ba } U_{\text{ef}} = \frac{\pi}{2} U_m; \quad D) J_{\text{ef}} = \frac{J_m}{\sqrt{2}} \text{ ba } U_{\text{ef}} = \frac{U_m}{\sqrt{2}};$$

5. O'zgaruvchan tok zanjirining to'la qismi uchun Om qonuni ifodasini aniqlang:

$$A) J = \frac{\varepsilon}{R+r}; \quad B) J_0 = \frac{U_0}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}};$$

$$C) J = \frac{U}{R}; \quad D) J_0 = U_0 \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

6. Ideal tebranish konturi sig'imi 5 mkF kondensator va induktivligi $L=0,2$ Gn bo'lgan g'altakdan tashkil topgan. Kontur kondensatori qoplamalaridagi maksimal tok kuchini toping.

A) 0,45 A; B) 0,43 A; C) 0,44 A; D) 0,42 A.

7. Sig'imi 4 mkF bo'lgan kondensatorning chastotasi 50 Hz bo'lgan o'zgaruvchan tok tarmog'idagi qarshiligi qancha:

A) 0,4 kΩ; B) 0,8 kΩ; C) 0,6 kΩ; D) 0,2 kΩ.

8. Tok kuchi $J=100\sin 314t$ qonun bo'yicha o'zgaradi. Shu tokning amplituda qiymati (I_m), siklik chastotasi (ω), chiziqli chastotasini (ν) va davrini (T) toping:

- a) $J_m=100$ A, $\omega=314$ c⁻¹, $\nu=50$ Hz, $T=0,02$ s;
- b) $J_m=100$ A, $\omega=100$ c⁻¹, $\nu=1$ Hz, $T=0,2$ s;
- c) $J_m=141$ A, $\omega=100$ c⁻¹, $\nu=3,14$ Hz, $T=2$ s;
- d) $J_m=100$ A, $\omega=3,14$ c⁻¹, $\nu=314$ Hz, $T=0,002$ s.

Mavzu yuzasidan savollar

1. Maksvell nazariyasining yaratilishiga olib kelgan sabablar nimadan iborat?
2. Maksvell tenglamalarining integral shaklini yozing va bu tenglamalar tizimiga kiruvchi bitta tenglamaning fizik ma'nosini tushuntirib bering?
3. Maksvell tenglamalarining differensial shaklini yozing va har bir tenglamaning fizik ma'nosini asoslab bering.
4. Maksvell tenglamalarining integral shakli bilan differensial shaklining ekvivalentligini ko'rsatib bering.
5. Kuchlanishlar rezonans hodisasini tushuntiring

6. Tok rezonansi nimani ifodalaydi.
7. O'zgaruvchan tok zanjiridagi impedans nimani ifodalaydi
8. Quvvat koeffisienti nimani ko'rsatadi
9. Potensiometrlar nima maqsadlarda ishlatiladi
10. Majburiy tebranishlar deganda nimani tushinasiz

Elektromagnit to'liqlar.

§67. Elektromagnit to'liqlar shkalasi. Elektromagnit to'liqlarning tarqalish tezligi.

Oldin ko'rib o'tganimizdek Maksvell tenglamalarining natijalaridan biri elektromagnit to'liqlarning mavjud bo'lishidir. Ko'rsatish mumkin elektromagnit maydonni hosil qilayotgan tok va zaryadlardan uzoqda joylashgan bir jinsli izotrop muhit uchun Maksvell tenglamasidagi $\vec{E}$ va $\vec{H}$ o'zgaruvchan elektromagnit maydon kuchlanganliklari tenglamalarini qanoatlantiradi

$$\Delta \vec{E} = \frac{1}{\vartheta^2} \frac{d^2 \vec{E}}{dt^2}; \quad (15.1)$$

$$\Delta \vec{H} = \frac{1}{\vartheta^2} \frac{d^2 \vec{H}}{dt^2} \quad (15.2)$$

(bunda ϑ – faza tezligi, $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$) Laplass operatori). (15.1) va (15.2) tenglamani qanoatlantiruvchi har qanday funksiya biror to'liqinni ifodalaydi. Demak, elektromagnit maydon haqiqatdan ham elektromagnit to'liq ko'rinishida bo'lish mumkin ekan. Elektromagnit to'liqlarning faza tezligi quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$\vartheta = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \frac{1}{\sqrt{\epsilon \mu}} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \mu}} \quad (15.3)$$

bunda $\frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$, ϵ va μ – mos ravishda muhitnin elektr va magnit kirituvchanliklari. ϵ_0 va μ_0 – mos ravishda elektr va magnit doimiylari. Vakuumda ($\epsilon = 1$ va $\mu = 1$ bo'lganda) elektromagnit to'liqlar tezligi yorug'lik tezligi bilan mos keladi. $\epsilon_M > 1$ bo'lgani uchun moddada elektronmagnit to'liqlar tezligi har doim vakuumdagidan kichik bo'ladi.

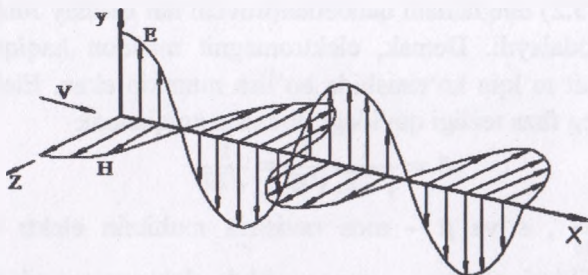
(15.3) formula yordamida elektromagnit maydon tezligini hisoblash natijasi, ϵ va μ ning chastotaga bog'liqligini e'tiborga olsak, tajriba natijalari bilan ancha mos kelishini ko'rsatadi. (15.3) dagi koeffisientning vakuumda yorug'likning tarqalish tezligini ko'rsatishi elektromagnit va optik hodisalar orasida bog'lanish mavjudligini va Maksvellga yorug'likning elektromagnit nazariyasini yaratishga imkon

berdi. Bu nazariyaga binoan yorug'lik elektromagnit to'loinidan iboratdir.

Maksvell nazariyasining muhim xossalardan biri elektromagnit to'qinlarning ko'ndalang to'loin ekanligidadir. $\vec{E}$ va $\vec{H}$ elektr va magnit maydon kuchlanganliklari vektorlari o'zaro perpendikulyar (15.1—rasmda yassi elektromagnit to'loinning biror vaqt lahzasidagi fotosurati keltirilgan) bo'lib, tezlik vektori $\vec{v}$ ga perpendikulyar tekislikda yotadi. $\vec{E}$, $\vec{H}$ va $\vec{v}$ vektorlar o'zaro o'ng vintli tizimni tashkil qiladi. Maksvell tenglamasidan yana shuni ko'rish mumkinki, elektromagnit to'loqinda $\vec{E}$ va $\vec{H}$ vektorlar har doim bir xil fazada (15.1-rasm) tebranib, $\vec{E}$ va $\vec{H}$ larning har bir nuqtadagi oniy qiymatlari o'zaro quyidagi ifoda orqali bog'langandir:

$$\sqrt{\epsilon_0 \epsilon} E = \sqrt{\mu_0 \mu} H \quad (15.4)$$

Demak, E va H lar bir vaqtda maksimumga erishadilar va bir vaqtda nolga teng bo'ladilar.



15.1—rasmda. Yassi elektromagnit to'loinning biror vaqt lahzasidagi fotosurati

(15.1) va (15.2) to'loin tenglamalaridan quyidagi tenglamalarga o'tish mumkin

$$\frac{\partial^2 E_y}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 E_y}{\partial t^2}, \quad (15.5)$$

$$\frac{\partial^2 H_z}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 H_z}{\partial t^2}, \quad (15.6)$$

bu erda y va z lar $\vec{E}$ va $\vec{H}$ vektorlarning o'zaro perpendikulyar y va z o'qlari bo'yicha yo'nalganini ko'rsatadi.

(15.5) va (15.6) tenglamalarni xususiy holda quyidagi tenglamalar orqali ifodalovchi yassi monoxromatik elektromagnit to'liqlar (bitta aniq chastotaga ega bo'lgan elektromagnit to'liq) ni ham qanoatlantiradi

$$E_y = E_0 \cos(\omega t - kx + \varphi), \quad (15.7)$$

$$H_z = H_0 \cos(\omega t - kx + \varphi), \quad (15.8)$$

bunda E_0 va H_0 lar mos ravishda elektromagnit to'liq elektr va magnit maydon kuchlanganlik amplitudalari, ω – to'liqning doiraviy chastotasi, $K = \frac{\omega}{v}$ – to'liq soni, φ esa $x = 0$ koordinataga mos keladigan tebranishning boshlang'ich fazasi. Bu tenglamalarda φ bir xildir, chunki elektromagnit to'liqda elektr va magnit vektorlari bir xil fazada tebranadi.

Elektromagnit to'liqning tarqalish tezligi qarab chiqaylik. Elektromagnit to'liqning biror muhitda tarqalish tezligi, Maksvell nazariyasiga asosan, shu muhitning elektr va magnit singdiruvchanlik xususiyatlariga bog'liq bo'lib, uning qiymati quyidagi munosabat bilan aniqlanadi:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0 \sqrt{\mu \epsilon}}} \quad (15.9)$$

Bo'shliqda muhitning magnit singdiruvchanligi μ va dielektrik singdiruvchanligi ϵ birga teng. Shuning uchun bo'shliqda elektromagnit to'liqlarning c tarqalish tezligi:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \quad (15.10)$$

munosabat bilan ifodalanadi. Bu ifodadan foydalanib (15.9) ni quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\mu \epsilon}}. \quad (15.11)$$

Demek, elektromagnit to'liqning muhitda tarqalish tezligi bo'shliqidagi $\sqrt{\mu \epsilon}$ marta kichik.

§68. Elektromagnit to'liqlar va ularning nurlanishi, elektromagnit to'liqlarning xossalari.

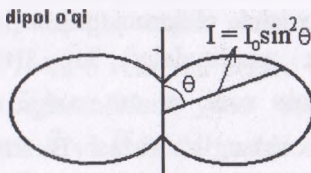
Biz elementar dipolning nurlanishini qaraymiz. Dipol elektr momentini $r=ql$ vaqt bo'yicha o'zgarishi garmonik tebranish qonuni bo'yicha o'zgaradi (15.2-rasm):

$$r=r_0\sin\omega t, \quad (15.12)$$

Bu yerda $l=l_0\sin\omega t$ ham garmonik qonuni bo'yicha o'zgaradi. Demak,

$$r=ql_0\sin\omega t, \quad (15.13)$$

Zaryad tezlanish bilan harakat qilgani uchun bunday dipol elektromagnit to'lqini chiqarishi kerak.



15.2- rasm. Elementar dipolning nurlanishini

Agar nurlanish to'lqin uzunligi dipolning o'lchamidan katta bo'lsa ($\lambda \gg l$), u holda dipolni elementar deb aytiladi. Elementar dipolning nurlanishi bilan biz turli xil masalalarda duch kelamiz: optikada, atomlar tomonidan yorug'likning chiqarish jarayoni; radiofizikada - radioto'lqinlarning eng sodda antenna tomonidan nurlantirilishi. Nurlanish nazariyasi umumiy fizika kursidan tashqariga chiqadi. Shuning uchun biz elementar dipolning nurlanish manzarasini qarab chiqamiz. Dipol yaqinida to'lqin xarakterga ega bo'lmagan o'zgaruvchan elektromagnit to'lqin hosil qiladi. Lekin uzoqroq sohada to'lqin zonasi deb atalgan soha vujudga keladi (15.3-rasm). Bu sohaning dipoldan kuzatilayotgan nuqtagacha masofa r to'lqin uzunligidan juda katta bo'lishi kerak. ($r \gg \lambda \gg l$) Ana shunday monoxromatik ω chastota bilan tarqalayotgan to'lqinning asosiy xossalarini qarab chiqamiz.

1. $\mathbf{E}$ va $\mathbf{H}$ vektorlarining qandaydir radial yo'nalishi bo'yicha tarqalishi yassi to'lqinlardek bo'ladi (koordinata $x-r$ ga almashtiriladi).

$$\mathbf{E}=\mathbf{E}_0\sin(\omega t-kx); \mathbf{H}=\mathbf{H}_0\sin(\omega t-kx), \quad (15.14)$$

Intensivlikning taqsimlanish qonuni juda sodda:

$$I=I_0 \sin^2 \theta, \quad (15.15)$$

bu yerda θ - burchak.

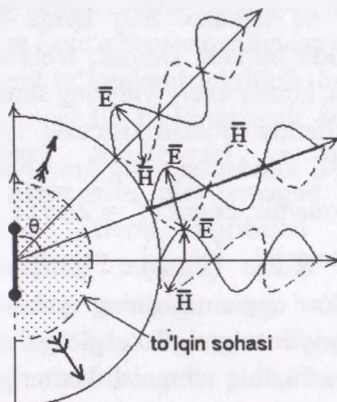
2. $\mathbf{E}$ va $\mathbf{H}$ vektorlarning yo'nalishini yengil yodda saqlash mumkin agar ular doimiy dipol maydonida va tok elementi yotgan tekislikda bo'lsa.

3. Yassi to'qlindan farqli bo'lib (E_0 va H_0 doimiy edi) bu holda ular fazoning nuqtasiga bog'liq: dipoldan hisoblangan masofaga teskari proporsional ($\sim 1/r$) va dipol o'qi bilan tarqalish yo'nalishi orasidagi burchakning sinusiga to'g'ri proporsional bo'ladi. Bulardan tashqari, E va H vektorlar dipol momentining vaqt bo'yicha ikkinchi tartibli hosilaga proporsional bo'ladi. ($r = -r_0 \omega^2 \sin \omega t$). Demak, E_0 va H_0 amplitudasi r_0 va ω^2 ga proporsional. Shunday qilib,

$$E_0 \sim r_0 \omega^2 \sin \theta / r; \quad H_0 \sim p_0 \omega^2 \sin \theta / r. \quad (15.16)$$

4. To'qlin intensivligi uchun (15.15) va (15.16) asosan:

$$I \sim p_0^2 \omega^4 \sin^2 \theta / r^2, \quad (15.17)$$



15.3-rasm. Nurlagichdan tarqalayotgan to'qlinlar

Bu formuladan kelib chiqadiki, intensivlik, birinchidan, dipoldan hisoblangan masofaning kvadratiga teskari proporsional kamayyadi; ikkinchidan, intensivlik turli xil yo'nalishda bir xil emas: u dipol o'qiga perpendikulyar yo'nalishda

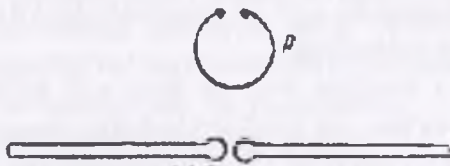
maksimal ($\theta = \pi/2 \sin \theta = 1$) va dipol o'qi yo'nalishida nolga teng bo'ladi. ($\theta = 0$ va $\theta = \pi$, $\sin \theta = 0$), uchinchi, intensivlik chastotaga juda kuchli bog'liq bo'ladi ($I \sim \omega^4$). Radio eshiritishlarda shu sababdan yuqori chastota ishlatiladi ($\omega \sim 10^5 \div 10^7$).

§69. Gerts vibrator. Elektromagnit to'liqlar shkalasi.

Tebranish konturi ochiqroq qilib yasalsa, ya'ni vujudga keladigan o'zgaruvchan elektr maydon konturni har taraflama o'rab oladigan qilib yasalsa, konturning to'liqlar tarqatuvchanligini oshirish mumkin.

Ikkinchi tomondan, elektr maydon kuchlanishining o'zgarish tezligi $\frac{dE}{dt}$ qanchalik katta bo'lishi uchun tebranish konturining tebranish davri T shuncha kichik bo'lishi kerak. Bu esa magnitoelektrik induksiya hodisasi tufayli sodir bo'ladigan uyurmaviy magnit maydon intensivligining ortishiga sabab bo'ladi. Bu maydon energiyasi uyurmaviy elektr maydon energiyasiga, u esa yangi magnit maydon energiyasiga aylanadi va hokazo. Shu tariqa fazoda elektromagnit maydonni tarqalishi sodir bo'ladi. Demak, tebranish konturining davri qanchalik kichik bo'lsa, kontur energiyasining shunchalik ko'proq qismi elektromagnit to'liqlar sifatida tarqaladi. Bundan, tebranish konturidagi L g'altak induktivligi va C kondensator sig'imi qiymatlarini kichraytirish kerak degan xulosaga kelamiz, chunki $T = 2\pi\sqrt{LC}$.

Tebranish chastotasini ($\nu \sim \frac{1}{T}$) yanada oshirish maqsadida konturning kondensator qoplamalarining yuzasini kichraytirish va induktivlik g'altagini yoyib to'g'ri o'tkazgichga aylantirish kerak, yani yopiq tebranish konturini ochiq tebranish konturiga almashtirish kerak. Gerts tajribalarida ishlatgan ochiq tebranish konturi ham yuqorida bayon etilganga o'xshash edi. Gerts o'tkazgichlarning sig'imini bir oz oshirish uchun o'tkazgichlar uchlarini yo'g'onlashtirish sfera shakliga keltiradi (15.4—rasmga qarang). Gertsning bu qurulmasi Gerts vibrator deb ataladi.



15.5-rasm. Gerts vibrator

Vibratorning ikkala qismi dastlab o'zgaruvchan tok manbaidan etarlicha kuchlanishning tushuvi vujudga kelguncha zaryadlanadi. Kuchlanishning tushuvi yetarlicha yuqori bo'lganda vibratorning ikkala

uchlari oralig'ida uchqun yuz berib (teshilish) zanjiming ikkala qismini ulaydi. Vibratorning ikkala qismi bir necha marta qayta zaryadlangandan so'ng tebranishlar so'nib qoladi, chunki vibrator zaryadlangan vaqtda olgan energiya elektromagnit to'qlinini nurlantirishga va joule issiqligiga sarflanadi. Keyin o'zgaruvchan tok manbai vibratorni yangidan zaryadlaydi va jarayon takrorlanaveradi.

Elektromagnit to'qlinlarni qayd qilish uchun vibratordan biror masofa uzoqlikda qabul qiluvchi qurilma—rezonator (P) qo'yiladi. Rezonator vibratorga o'xshash qurilma bo'lib, elektromagnit to'qlinning o'zgaruvchan maydoni tasirida unda induksion tok vujudga keladi. Natijada rezonatorning uchqun oralig'ida mayda uchqunlar payda bo'lib, elektromagnit to'qlinlar qayq qilinayotganligidan dalolat beradi.

Gers elektromagnit to'qlinlarni tekshirib, hamma to'qlinlarga xos bo'lgan xususiyatlarni ochdi: Elektromagnit to'qlinlarning qaytishi, sinishi, interferensiyasi, difraktsiyasi va qutblanishini kuzatdi. Optikaning barcha qonunlarini elektromagnit to'qlinlariga qo'llash mumkinligini aniqladi. Gerts tajribalari asosida aniqlangan elektromagnit to'qlinlarning tarqalish tezligi $3 \cdot 10^8 m/c$ ga, yani yorug'likning bo'shliqdagi tezligiga teng bo'lib chiqdi. Bu natija Maksvell nazariyasining to'g'riligini tasdiqladi, chunki Maksvell nazariyasiga asosan, elektromagnit to'qlinlar yorug'lik tezligida tarqalishi lozim edi. Gerts tajribalarida hosil qilgan elektromagnit to'qlinlarning chastotalari $10^8 Hz$, ya'ni to'qlin uzunliklari $(\lambda = \frac{c}{\nu}) \sim 3$ metrga teng edi. Keyinchalik yuqori chastotali elektromagnit to'qlinlarni olish usulari ishlab chiqildi va takamullashtirildi. 1906yil P. N. Lebedev chastotasi $\nu = 5 \cdot 10^{10} Hz$ (to'qlin uzunligi $6 mm$) bo'lgan elektromagnit to'qlinlarni hosil qilish mumkin bo'lgan juda kichik vibrator yasadi. 1922 yilda A.A.Glagolyeva—Arkadyeva yuqori chastotali elektromagnit to'qlinlarni vujudga keltirish usulini ishlab chiqib chastotasi $\nu = 3 \cdot 10^{12} zs$ (to'qlin uzunligi $0,1 mm$) bo'lgan elektromagnit to'qlinlarni hosil qilish imkoniga ega bo'ldilar.

Umuman, elektromagnit to'qlinlar noldan cheksizlikkacha bo'lgan intervallardagi chastota (to'qlin uzunlik) larga ega bo'lishi mumkin. Elektromagnit chastotalar yoki to'qlin uzunliklar bo'yicha guruhlariga ajratish elektromagnit to'qlinlarining shkalasi deb ataladi.

Elektromagnit to'liqlarining shkalasini shartli ravishda (chastitasi ortib bo'ruvchi) quyidagi sinflarga ajratish mumkin: radio to'liqlar, infraqizil nurlar, ko'zga ko'rinadigan yorug'lik nurlari, ultrabinafsha nurlar, rentgen nurlari va gamma nurlar.

Elektromagnit to'liqlarining shkalasi.

Nurlanish turi	To'liqin chastotasi, Hz	To'liqin uzunligi, m	Nurlanish manblari
Past chasotali to'liqlar	$0 \div 3 \cdot 10^3$	$0 \div 10^5$	O'zgaruvchi tok generatori, elektromashinalari.
Radio to'liqlar	$3 \cdot 10^3 \div 3 \cdot 10^4$	$10^5 \div 10^{-3}$	Tebranish konturi, Gers vibratory, lazerlar, yarimo'tkazgichli asboblari.
Infraqizil nurlar	$3 \cdot 10^{11} \div 4 \cdot 10^{14}$	$2 \cdot 10^{-3} \div 7,6 \cdot 10^{-7}$	Quyosh, elektrolampalar, yuqori haroratli jismlar, lazerlar, kosmos, simob- kvars lampalari.
Ko'rinadigan yorug'lik nurlari	$4 \cdot 10^{14} \div 8 \cdot 10^{14}$	$7,7 \cdot 10^{-7} \div 8,8 \cdot 10^{-7}$	Quyosh, elektrolampalar, yuqori haroratli jismlar, lazerlar, iyuminestsentsiya lampa, gaz chaqnashlari.
Ultrabinafsha nurlar	$7,3 \cdot 10^{14} \div 3 \cdot 10^{17}$	$4 \cdot 10^{-7} \div 3 \cdot 10^{-8}$	Quyosh, kosmos, lazerlar, elektr lampalar.
Rentgen nurlari	$3 \cdot 10^{16} \div 3 \cdot 10^{20}$	$10^{-8} \div 10^{-12}$	Rentgen naychasi, lazerlar, betatron, quyosh toji, samoviy jismlar.
Gamma nurlar	$3 \cdot 10^{19} \div 3 \cdot 10^{29}$	$10^{-11} \div 10^{-13}$	Kosmos, radioaktiv yemirilish, betatron.

Elektromagnit to'liqlar shkalasidagi to'liqlarining chastotalari intervali, ya'ni radioto'liqlardan to gamma to'liqlarigacha mos keladigan chastotalarining intervali $\sim 10^4 \div 10^{19} \text{ Hz}$ ga teng.

§70. Elektromagnit to'liqin energiya zichligi va energiya oqimining zichligi. Elektromagnit to'liqin energiyasi va energiya zichligi

Elektromagnit to'liqin bilan birgalikda energiya ham tarqaladi. Elektromagnit to'liqinning elektr maydon energiyasi $W_e = \frac{\epsilon_0 \epsilon}{2} E^2 V$ va magnit maydon energiyasi $W_m = \frac{\mu_0 \mu H^2}{2} \cdot V$ formulalar orqali ifodalanadi. Birlik hajmdagi elektromagnit maydon energiyasi elektr maydon energiyasining zichligi va magnit maydon energiyasining zichligi skolyar yig'indisidan iborat:

$$w = w_e + w_m = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2} + \frac{\mu_0 \mu H^2}{2}. \quad (15.18)$$

Elektromagnit to'liqin elektr va magnit maydonlar energiyalarining energiyasi zichliklari har bir momentda birday bo'ladi, ya'ni:

$$w_e = w_m.$$

Shuning uchun (15.18) ifoda quyidagicha yozilishi mumkin:

$$w = 2w_e = 2w_m = \epsilon_0 \epsilon E^2 = \mu_0 \mu H^2, \quad (15.19)$$

bundan

$$\sqrt{\epsilon_0 \epsilon} E = \sqrt{\mu_0 \mu} H,$$

degan xulosaga kelamiz. Bu esa, o'z navbatida (15.19) ifodani

$$w = \sqrt{\epsilon_0 \mu_0 \epsilon \mu} E \cdot H \quad (15.20)$$

ko'rinishda ifodalashga yordam beradi. Agar elektromagnit maydon energiyasining zichligini elektromagnit to'liqinining tezligiga ko'paytirsak, birlik vaqtda, bir-birlik yuza orqali o'tayotgan energiyani, ya'ni energiya oqimining zichligini xarakterlaydigan kattalikni hosil qilamiz:

$$S = w \cdot \vartheta = E \cdot H \quad (15.21)$$

Bu ifodani vektor ko'rinishda

$$\vec{S} = [\vec{E} \vec{H}] \quad (15.22)$$

shaklida yozish mumkin. $\vec{E}$ va $\vec{H}$ lar o'zaro perpendikulyar bo'lganligi uchun, bu vektorlarning vektor ko'paytmasi elektromagnit to'liqinning tarqlash yo'nalishidagi $\vec{S}$ vektordir, ya'ni $[\vec{E} \perp \vec{H} \perp \vec{S}]$. $\vec{S}$ vektorni *Umov–Poynting vektori* deb ataladi.

Eenergiyaga ega bo'lgan harakatlanuvchi materiya, Nisbiylik nazariyasiga asosan, massa ham ega bo'ladi. Massa va energiya

orasidagi munosabat $W = mc^2$ orqali ifodalanadi. Shuning uchun elektromagnit maydon mavjud bo'lgan fazoning birlik hajmiga w/c^2 massa to'g'ri keladi. U holda elektromagnit maydonning tarqalishini, ya'ni elektromagnit to'liqini massaga ega bo'lgan materiyaning harakati deb qaramoq kerak. Harakatlanuvchi materiya esa impulsiga ega. Agar elektromagnit maydon bo'shliqda tarqalayotgan bo'lsa, uning impuls $p = \frac{w}{c^2} \cdot c = \frac{w}{c}$ ga teng bo'ladi. Bu p – kattalik elektromagnit maydon impulsining zichligi deyiladi. Massa va impulsiga ega bo'lgan materiya o'z yo'lidagi to'siqlarga bosim kuchi bilan ta'sir qilishi kerak. Haqiqatan ham, tajribalar elektromagnit to'liqin (yorug'lik) ning bosimini borligini tasdiqlashdi, ya'ni 1900 yil Lebedov yorug'likning bosimini aniqladi.

§71. Poyting vektori. Elektromagnit to'liqlarni qo'llanishi .

Umov-Poyting vektori va uning qo'llanishi. Elektrostatik va magnitostatik maydon energiya zichliklari $\epsilon_0 \epsilon E^2/2$ va $\mu_0 \mu H^2/2$ ga teng edi. Elektromagnit maydonida elektr va magnit maydonlarining energiya zichliklari ham har bir nuqtada o'zgaradi va u quyidagiga teng:

$$W = W_E + W_H = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2} + \frac{\mu_0 \mu H^2}{2} \quad (15.23)$$

E va H vektorlarining bir biri bilan uzviy ravishda bog'langanligini hisobga olsak, energiya zichligini unga ekvivalent shaklda quyidagicha yozish mumkin:

$$W = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2} + \frac{\mu_0 \mu H^2}{2} = \epsilon_0 \epsilon E^2 = \mu_0 \mu H^2 = \sqrt{\epsilon_0 \mu_0 \epsilon \mu} EH, \quad (15.24)$$

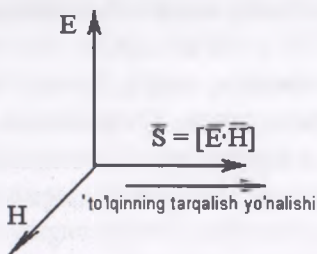
To'liqin tarqalishida elektr va magnit maydonlari ham fazoda tarqaladi, shu bilan birga energiya ham tarqaladi. Energiyaning tarqalishini xarakterlash uchun energiya oqim zichligi vektori degan kattalik kiritiladi, yoki unga *Umov-Poyting vektori* deb aytiladi. Bu vektorni S bilan belgilanadi va u quyidagicha aniqlanadi:

$$S = [EH], \quad (15.25)$$

Quyidagi 15.6-rasmda S , E , H vektorlarning o'zaro perpendikulyarligi ko'rsatilgan. Rasmdan ko'rinadiki, S vektor elektromagnit to'liqini tarqalish yunalini bo'yicha yunalgan.

E va H vektorlar vaqt bo'yicha o'zgarganligi uchun energiya oqim zichligi ham vaqt buyicha o'zgaradi. Monoxromatik to'liqin uchun, (15.25) quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$S = EH = E_c H_c \sin^2(\omega t - kx), \quad (15.26)$$



15.6-rasm. S , E , H vektorlarning o'zaro perpendikulyarligi

Umov-Poyting vektori qo'llanishiga doir misolarni qarab chiqamiz.

1. Ma'lumki yuqori chastotali to'lqinlarda (radio-va yorig'lik) amaliy jihatdan energiya oqim zichligini vaqt bo'yicha o'rtachasini bilish kerak bo'ladi yoki intensivlik $I \sim S$ energiya zichligiga proporsional bo'ladi. Buni quyidagicha ko'rsatish mumkin: sinus kvadratning o'rtachasi $1/2$ teng, u holda,

$$I = S = \frac{E_0 H_0}{2} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\epsilon_0 \epsilon}{\mu_0 \mu}} E_0^2 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\mu_0 \mu}{\epsilon_0 \epsilon}} H_0^2, \quad (15.27)$$

Shunday qilib, intensivlik amplitudaning kvadratiga proporsional bo'ladi (bu har qanday fizik tabiatdagi to'lqinlar uchun o'rinli bo'ladi).

2) Elektromagnit energiya oqimi zichligi yoki Poyting vektorini dielektrik egallagan hajmning ichiga qarab yo'nalgan bo'ladi. Kondensator sig'imi $C = \epsilon S/d$, u vaqtda zaryadlangan kondensator energiyasi $\frac{1}{2} CU^2$ va elektrostatik energiya ko'rinishida zapasga ega bo'ladi. Lekin $U = Ed$ bo'lgani uchun,

$$\frac{1}{2} CU^2 = \frac{1}{2} \left(\frac{\epsilon S}{d} \right)^2 E^2 d^2 = \frac{1}{2} \epsilon E^2 S d, \quad (15.28)$$

Shunday qilib, kondensatordagi energiya zichligi $(1/2)(\epsilon E^2)$ bo'lgan energiya zapasi ekanligi, bu esa zaryadlanish vaqtida hosil bo'lgan energiya oqimi bilan bog'langandir. Kondensatorni zaryadlash jarayonida Poyting vektori kondensator hajmi ichiga qarab yo'nalgan bo'ladi. Zaryadlash oxirida uning energiyasi to'la ravishda elektrostatik bo'ladi.

3. Joule - Lens qonuni bo'yicha o'tkazgichda ajralib chiqqan issiqlik miqdari elektromagnit energiyasining davomi ekanligini Poyting vektori

orqali ko'rsatish mumkin. Ma'lumki, o'tkazgichdan tok o'tganda ajralib chiqqan issiqlik miqdori differensial ko'rinishda quyidagiga teng edi.

$$W = \sigma E^2 \quad (15.29)$$

Bu formuladan ko'rinadiki, haqiqatdan ham ajralib chiqan energiya miqdori kuchlanganlikning kvadratiga proporsional ekanligidir.

Ma'lumki, tokli o'tkazgich yoki solenoidda to'plangan magnit energiya ham elektromagnit energiya oqimiga teng bo'lishini ko'rsatish mumkin:

$$\frac{1}{2} LI^2 = \frac{1}{2} \mu H^2, \quad (15.30)$$

§72. Radioaloqa prinsipi. Televideniening fizik asoslari. Mobil aloqa.

Radioaloqa. XX asrning buyuk kashfiyotlaridan biri 1897 yil 5 mayda A.S.Papov tomonidan radioaloqaning kashf etilishidir. Keyinchalik radioaloqa sxemalari Popovning o'zi va boshqa bir qator olimlar tomonidan takomillashtirildi. Zamonaviy radioaloqaning sxemasi ancha murakkab. Shuning uchun radioto'lqinlarni tarqatish va ularni qabul qilishning zamonaviy usullari ishlab chiqilmoqda.

Radioaloqada to'lqin uzunliklari bir necha metrdan bir necha kilometrgacha bo'lgan elektromagnit to'lqinlardan foydalaniladi. Bu to'lqinlarni shartli ravishda quyidagi sinflarga ajratish mumkin:

- 1) uzun to'lqinlar ($\lambda \geq 1km$);
- 2) o'rta to'lqinlar ($\lambda = 100 m \div 1km$);
- 3) qisqa to'lqinlar ($\lambda = 10 m \div 100 m$);
- 4) ultraqisqa to'lqinlar ($\lambda < 10m$).

Radioto'lqinlarning tarqalishi to'lqinlar uzunligiga, Yer relefiga, Yer sirtining fizik xususiyatlariga, yilning fasliga va kun yoki tunligiga bog'liqdir. Bu sabablarning ko'pchiligi Quyosh bilan bog'liq. Quyosh yorug'lik nuri bilan bir qatorda ultrabinafsha nurlar va katta energiyali zaryadlangan zarrachalar tarqatadi. Ular Yer atmosferaning yuqori qatlamlarini ionlashtiradi, ya'ni molekulalarni musbat ionlarga va manfiy elektrionlarga ajratadi. Shuning uchun ham atmosferaning yuqori qatlamlarida ionosferani hosil qiladi. Ultraqisqa elektromagnit to'lqinlar ionosferadan bemalol o'tadi. To'lqin uzunliklari $10 \div 15$ metrdan katta bo'lgan to'lqinlar uchun ionosfera qaytaruvchi sirt vazifasini bajarar ekan. Shuning uchun $\lambda > 10m$ bo'lgan radioto'lqinlar

ionosferadan va Yer sirtidan bir nasha martalab qaytishi tufayli Yer sharidan egilib o'ta olar ekan. Kunduzi quyosh nurlanishi ta'siridagi ionlanish tundagiga qaranga ancha kuchliroq bo'ladi. Tunda, musbat ionlarni manfiy elektronlar bilan qaytadan birikishi, ya'ni rekombinatsiya tufayli ionosferaning pastki qatlamlaridagi ionizatsiya darajasi kamayib ketishi mumkin. Ionlanishning qiymati Quyoshning Yerdan uzoqligiga, ya'ni yil fasliga bog'liq bo'lishi ham tabiiydir, chunki Yerga yetib kelayotgan quyosh nurlarning miqori turli fasllarda turlicha bo'ladi.

Radioto'lqinlar Yer sirti bilan ta'sirlashib yuqori chastotali toklarni vujudga keltiradi. Bu esa to'lqin energiyasining bir qismi joul issiqligiga sarflanishiga, ya'ni radioto'lqin energiyasining kamayishiga sabab bo'ladi.

Radioto'lqinlar o'z yo'lidagi to'siqdan qaytadi. Bu hodisa asosida, ya'ni radioto'lqinlar yordamida fazodagi jismlarni topish va uning turgan joyini aniqlash **radiolokatsiya** deb ataladi. Radiolokatsion qurilma radiolokator yoki radar deyiladi. Radiolokatsion qurilma to'lqin tarqatuvchi va qabul qiluvchi qismlardan, hamda ob'ekt tomon tarqatilgan impulsni jo'natilgan va qaytgan momentlari oralig'idagi aniq vaqtni o'lchaydigan asbobdan iborat bo'ladi. Agar bu vaqtni t deb belgilasak, ob'ektgacha bo'lgan masofa

$$R = \frac{c \cdot t}{2} \quad (15.31)$$

ifoda orqali topiladi, bunda c - to'lqinlarning bo'shliqdagi tarqalish tezligi.

Radiolokatsiya aloqada keng ko'lamda qo'llaniladi: kemalarda va samolyotlarda navigatsiya maqsadlarida, osmon jismlari joylashuvi va ulargacha bo'lgan masofalarni o'lchashda, ob-havo xizmatida va hokazo.

Televideniye. Televideniye — harakatlanayotgan tasvir va tovushni masofadan uzatish tizimi. Televideniyeining ishlash prinsipi tasvir kadrini satrlarga bo'lib uzatishga asoslangan. Kadrlar almashinishi chastotasi tasvir o'zgarishi tezligiga qarab tanlanadi. Televideniye, fan, texnika va madaniyatning ko'rinadigan axborotlarni radioelektron vositalar yordamida muayyan masofaga uzatish bilan bog'liq sohasi; axborotlarni tarqatish vositalaridan biri. Insoniyat o'zi yashab turgan

joydan uzoqdagi narsalar va voqealarni ko'rish istagi bilan hamisha band bo'lib kelgan. Bu istak ko'p xalqlarning afsona va ertaklarida o'z aksini topgan. Masalan, Alisher Navoiy "Farhod va Shirin" dostonida bu istakni badiiy shaklda aks ettirgan. Xalqlarning bu istagi, asosan, elektronika "sehrli ko'zgu" ("oynai jahon") ga aylangan 20-asrda ro'yobga chiqdi. Televideniye tasvir elementlarini ketma-ket uzatish tamoyiliga asoslangan. 20-asrning 30-yillariga qadar tasvirlarni analiz va sintez qilishda optik-mexanik qurilmalardan foydalanilgan 30-yillar o'rtalaridan boshlab dastlabki elektron televideniye tizimi paydo bo'ldi. Inson ko'zi uzatilgan televizion tasvirlarni qabul qiluvchi oxirgi bo'g'im hisoblangani uchun televizion tizimlar ko'zning ko'rish jarayonlarini hisobga olib qurilgan, ya'ni televideniye ko'z xususiyatlariga asoslangan. Bunda kolbachalar va tayoqchalar o'rnida fotoelementlar ishlatilgan. Agar ob'yektiv orqali biror ob'yektning tasviri fotoelementlardan tashkil topgan panelga tushirilsa, tasvirning alohida elementlaridan kelayotgan yorug'lik intensivligiga monand elektr signallari olinadi.

Televideniye taraqqiyotida ichki fotoeffektning ochgan U. Smith'ning, tashqi fotoeffektning asosiy qonuniyatlarini belgilab bergan A. G. Stoletov, radioaloqani ixtiro qilgan A. S. Yoiiovning, "katod teleskop" tizimini ishlab chiqqan va shu tizim bo'yicha laboratoriya sharoitida birinchi marta elektron televizion uzatishni amalga oshirgan B. L. Rozingning xizmatlari katta. 1928 yilda o'zbekistonlik ixtirochilar B. P. Grabovskiy va I. F. Belyanskiylar elektronnur yordamida xarakatdagi tasvirni bir joydan ikkinchi joyga uzatadigan va qabul qiladigan "radiotelefot"ni yaratdilar. Televideniye elektron tizimlari amalda 1920—1940 yillarda ishlab chiqarilgan asboblardan foydalanishga asoslangan. Bunga B. K. Zvorikin va F. Farnsuort, K. Svintov, A. A. Chernishev, S. I. Katayev, A. P. Konstantinov, B. L. Rozing, P. V. Timofeyev, P. V. Shmakov va boshqa olimlar katta hissa qo'shishgan.

Televizion tasvirlar 3 jarayonda uzatiladi: 1. Uzatuvchi obyekt chiqargan yoki qaytargan yorug'likni elektr signallariga aylantirish; 2. Elektr signallarini aloqa kanallari bo'yicha uzatish va qabul qilish; 3. Elektr signallarini obyektning optik tasvirini hosil qiluvchi yorug'lik impulslariga aylantirish. Uzatishda tasvir elementlarini elektr signallariga, qabul qilishda uzatilgan signallarni tasvir elementlariga

ketma-ket aylantirish jarayoniga tasvirlarni tiklash deyiladi. Tasvirlarni analiz va sintez qilish jarayonlari sinxron hamda sinfaz bo'lishi kerak. Televizion ko'rsatuv tizimida chiziqli satr yoyilma qabul qilingan; bunda hosil qilinadigan tasvir kadri gorizontal satr strukturaga ega bo'ladi. Tiklashning sinfazligini saqlash uchun har qaysi satr va kadr oxirida sinxronlovchi impuls uzatiladi. Shu bilan televizion sayt o'z ta'sir zonasidagi barcha televizorlardagi tiklanishlarni boshqaradi. Televideniyeda optik tasvirlarni hosil qilish va tiklash jarayonlari texnik jihatdan asosan vakuumli electron nurli trubka yordamida amalga oshiriladi. Uzatuvchi trubkalar ichida ichki fotoeffektli vidikon va tashqi fotoeffektli superortikon, qabul qiluvchi trubkalardan esa turli kineskoplar keng tarqalgan. Oq-qora televideniyeda yorug'lik signali (videosignal) uzatuvchi trubkadan chiqishda kuchaytiriladi va elektr signaliga aylantiriladi. Bunda radiokanal yoki kabel kanali aloqa kanali bo'lib xizmat qiladi. Qabul qiluvchi qurilmada qabul qilingan signallar bir nurli kineskopda yorug'lik nurlariga aylantiriladi; bunda kineskop ekrani oq nur nurlatadigan lyuminofofor bilan qoplangan.

Rangli televideniye tabiatdagi barcha ranglarni ma'lum nisbatda olingan 3 ta asosiy rang — qizil, yashil va ko'k ranglardan optik jihatdan tiklash mumkin bo'lgani uchun televizion uzatish kamerasi yoritilganlik signalini va asosiy ranglar signallarini yaratishi uchun bir emas, balki 3 ta trubkadan iborat bo'ladi. Uzatishda (telemarkazda) ana shu barcha signallar kodlanadi, qabul qilishda (televizion priyomnikda) dekodlanadi. 80-yillar o'rtalaridan boshlab raqamli televideniye tizimi ustida ishlar olib borildi va amalda joriy qilindi. Bu tizimda elektr impulslarning kod (raqam) li kombinatsiyalari ketma-ketligidan foydalaniladi. Kabelli televideniye tizimidan ham foydalanilmoqda. Unda atmosfera va boshqa xalaqitlar bo'lmaydi. Kabellar asosan yer ostidan o'tkaziladi.

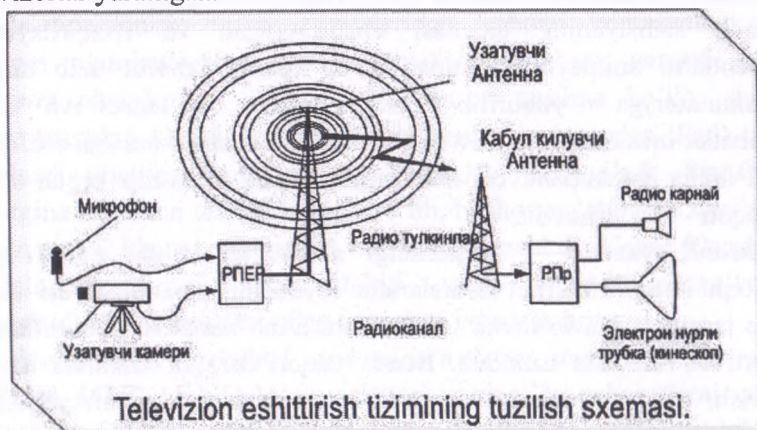
Televideniye tizimlari quyidagi asosiy belgilari bo'yicha tasniflanadi: sifat belgisi bo'yicha — oq-qora (monoxromli), rangli, stereomonoxromli va stereorangli; signallarni qanday shaklga keltirishi (videoinformatsiya) bo'yicha — analog va diskretli (raqamli); aloqa kanali spektrining chastotasi bo'yicha — keng polosali va tor polosali.

Televideniye inson turmushida muhim o'rinni egalladi; televizion eshittirish sifatida keng tarqaldi. Televizion apparaturalar fan, tibbiyot,

xalq xo'jaligining turli tarmoqlarida turli masalalarni hal qilishda keng ishlatiladi. Tasvirni uzoq masofaga olib ko'rsatish tajribalari 20-asr 30-yillarida boshlandi. Televideniye Oyning Yerdan ko'rinmaydigan tomonini o'rganishga imkon yaratdi, Oy, Merkuriy, Venera, Mars va Yupiter sayyoralarining fototelevizion suratlari olindi. Muntazam teleko'rsatuvlar Birlashgan Qirollik va Germaniyada 1936-yilda, Amerika Qo'shma Shtatlarida 1941-yilda, Yevropa mamlakatlarida 20-asr 50-yillarida, rivojlanayotgan mamlakatlarda 60-yillarda boshlandi. Bugungi kunda, televideniye yuqori darajada rivoj topdi va insoniyat hayotining ajralmas qismiga aylandi. Barcha rivojlangan mamlakatlar o'z televideniyesiga ega, AQShda 3 ta umummilliy teletarmoq — "ABC", "CBS" va "NBC" faoliyat ko'rsatmoqda. Angliyada "BBC", Fransiyada TF va boshqa televizion studiyalar mavjud.

1928 yilning 4 avgust kuni teletasvirni uzatuvchi apparat ko'chaga o'rnatildi. «Xiva» kinoteatri oldiga o'rnatilgan telemajmuaning tasvirni qabul qiluvchi qismida o'tib ketayotgan tramvay ko'rindi. Bu dunyoda birinchi bor ko'chada to'g'ridan-to'g'ri olib ko'rsatilayotgan telereportaj — toshkentlik ixtirochilarning katta g'alabasi edi. Televizor haqida ma'lumot beradigan bo'lsak, u telestudiyalardan uzatiladigan teleeshittirishlarning signallarini qabul qilish, kuchaytirish hamda tasvir va tovushga aylantirish uchun mo'ljallangan radioelektron qurilma. Televizorning rangli va oq-qora, statsionar va ko'chma xillari bor. Televizion markazdan tarqatilgan elektr signallarini to'lqinlarni qabul qiluvchi antenna tutib, kabel orqali televizorga uzatiladi. Bunda tebranishlar kuchayadi, tasvir va tovush signallariga ajraladi, so'ngra kineskop va radiokarnayga o'tadi. Generatorlar vositasida kineskop ekranida television rastr hosil qilinadi. Oq-qora televizorda tasvir - tasvir signallari qora va yorug' elementlar ko'rinishida namoyon bo'ladi. Qabul qilinadigan dasturlar soniga qarab, televizor bir, uch, besh, o'n ikki, o'ttiz bir va hokazo kanallari bo'ladi. Televizorda qabul qilish uchun metrli to'lqinlar diapazonida ishlaydigan televizion kanallardan foydalaniladi. Detsimetrli diapazondagi dasturlarni qabul qilish uchun televizorlarga alohida moslama — konvertor qo'yiladi. U detsimetrli signalni qabul qilib, chastotasini birinchi, ikkinchi yoki boshqa television kanal chastotasiga moslab beradi. Televizorlarning tuzilishi standartlashtirilgan. Uning soddalashtirilgan sxemasi kanalning

almashlab ulash bloki, tasvir va ovoz kanallari, sinxronlash kanallari, yoyuvchi blok va elektr quvvatlari bilan ta'minlovchi blokdan iborat. Telestudiyalar bir necha dasturni bir vaqtda uzatadi. Ulardan keragini ko'rish uchun televizorda sozlash blokidan foydalaniladi. Bu sozlash bloki yuqori chastotali kuchaytirgich bilan tutashtirilgan bo'ladi. Tasvir va tovush signallari bir-biridan farq qiladigan chastotalarda uzatilganligi uchun bu signallar kuchaytirilganidan so'ng yuqori chastotali tebranishlar ajraladi va boshqa-boshqa mustaqil kanallar bo'yicha ketadi. Tovush signallari tebranishlari tovush blokiga tushadi. Tasvir blokida detektor yuqori chastotali tebranishlardan tasvir signallarini ajratib oladi. Rangli televizorlarning tuzilishi ancha murakkab, ular oq-qora televizorlardan ranglar kanali bloki va rangli kineskopi bilan farq qiladi. Rangli televideniye tizimi uch kanalli bo'ladi. Monoxrom tashkil etuvchilar — qizil, ko'k va zangori ranglar rang qorgichida aralashadi, so'ngra uzatgich modilyatoriga o'tadi. Tebranishlar qabul qilgichda qaytadan uch chastota kanaliga bo'linib, rangli kineskopga o'tadi. Sifat ko'rsatkichlari, ekranning o'lchami va foydalanishga qulayligi bo'yicha televizor to'rt sinfga bo'linadi: I—III sinfdagisi — statsionar televizorlar, IV sinfdagisi — portativ, ya'ni ko'chma televizorlar, odatda, televizorlar bosma montajdan keng foydalanilgan alohida konstruktiv bloklardan tuziladi. Televizorlarda asosan, yarim o'tkazgichli asboblari, integral platalar, tranzistorlar qo'llaniladi. Ekranlari tekis va elektrlyuminiforda ishlaydigan, juda katta va mitti ekranli televizorlar yaratilgan.



ALOQA VOSITALARI VA MOBIL ALOQA TEXNOLOGIYALARI

Mobil telefon va mobil aloqa muhiti. Mobil telefon – mobil aloqada foydalaniladigan telefon apparati turi. Hozirgi kunda, mobil telefon klaviatura va ekranga ega bo'lib asta-sekin kompyuter, faks apparati, telefon apparati, qaydlar kitobchasi vazifalarini bajaruvchi ko'p maqsadli abonent tizimiga aylanmoqda. Mobil aloqa muhiti– tayanch stansiyalar va bir guruh abonentlar tizimidan iborat bo'lib, abonentlarning bir-birlari bilan o'zaro axborot almashinuvini ta'minlovchi texnik vositalar majmuasi. Mobil aloqa tizimida barcha ma'lumotlar mobil telefon orqali elektromagnit to'liqlari ko'rinishida simsiz havo orqali uzatiladi.

Mobil aloqa xizmati operatorlari. Mobil aloqa xizmati operatorlari – abonentlar (mijozlar) uchun mobil aloqa xizmatlarini taklif qiluvchi tashkilotdir. Operatorlar vazifasiga radio chastotadan foydalanish va xizmat ko'rsatish uchun kerakli hujjatlarni olish, o'zining mobil tarmog'ini tashkil qilish, foydalanish, xizmat shartlarini ishlab chiqarish, xizmat to'lovlarini yig'ish va texnik xizmat ko'rsatish kiradi. Mobil operator tomonidan bugungi kunda mobil so'zlashuv, SMS, MMS, GPRS, Internet kabi xizmatlar ko'rsatilmoqda.

Mobil aloqa xizmatlari: so'zlashuv, mobil internet va pochta. Mobil aloqa xizmatlari – mobil aloqa vositalari yordamida abonentlarning so'zlashuvi, mobil internet va pochta xizmatlari amalga oshiriladi. **So'zlashuv** – telefon raqami terilganda joriy mobil operator tayanch stansiyaning antenasi chaqirayotgan va chaqirilayotgan abonentlarni aniqlaydi. Shundan so'ng ushbu axborot uzib ulagich (kommutator)ga yuborilib ikkita abonent bog'lanadi va ushbu abonentlar orasida so'zlashuv (ma'lumot almashinish) amalga oshiriladi, ya'ni ikkita harakatlanuvchi abonentning mobil telefonlar orqali o'zaro muloqoti - so'zlashuvdir.

Mobil Internet – harakatdagi abonentlar uchun mobil aloqa tarmoqlari orqali Internet resurslaridan foydalanish texnologiyasi. Mobil aloqa tarmoqlarida so'rovlar va so'zlashish ma'lumotlari axborotlarning paketli ko'rinishida uzatiladi. Bunda yuqori darajali xizmatni amalga oshirish, ayniqsa biznesni samarali boshqarish imkoniyati yaratiladi. Mobil Internetning qulayligi shundan iboratki, bunda foydalanuvchining

qaerda va qanday holatda bo'lishidan qat'iy nazar u mobil aloqa tarmog'i orqali Internet xizmatlaridan foydalanish imkoniyatiga ega bo'ladi. Mobil Internet xizmatidan foydalanish uchun maxsus simsiz modem qurilmasi yoki ushbu xizmat yoqtirilgan mobil telefon bo'lishi kerak.

Mobil pochta -Internet resurslaridan foydalangan holda abonentning mobil telefoni orqali shaxsiy elektron pochta xizmatidan foydalanish imkoniyati. Bunda Internet tarmog'i yordamida oddiy elektron pochta xizmatidan foydalanish kabi mobil telefonlar yoki boshqa mobil aloqa vositalari orqali ixtiyoriy vaqtda ixtiyoriy joyda elektron pochta xizmatidan foydalanish, ya'ni pochta xabarlarini olish, o'qish va javob yo'llash mumkin.

Mobil aloqa vositalari: Smartphone, iphone va planshetlar. Hozirgi kunda mobil telefonlarning va boshqa mobil aloqa vositalarining shunaqa turlari ishlab chiqarilmoqda-ki, bular vazifalari jihatidan personal kompyuterdan qolishmaydi. Bunday mobil aloqa vositalari yordamida hujjatlar bilan ishlash, musiqa tinglash, videoklip tomosha qilish, o'yinlar o'ynash, hatto radioeshittirish va televideniedan ham bahramand bo'lish mumkin.

Smartfon (smartphone) inglizchadan tarjima qilinganda "aqlli telefon" ma'nosini anglatadi. Funksionalligi jihatidan cho'ntak shaxsiy kompyuteriga yaqin bo'lgan mobil telefon. Bunda cho'ntak kompyuterining barcha vazifalari mujassamlangan. iPhone - to'rt diapazonli multimediyali smartfonlar lineykasi. iPhone o'zida telefonning asosiy vazifalaridan tashqari kommunikator va internet planshetlarning asosiy funksiyalarini ham qamrab olgan. **Internet planshetlar** – bu maxsus mobil qurilma bo'lib, shaxsiy kompyuterning klassik namunasidir. Planshetlar (masalan iPad) tashqi ko'rinish jihatidan kompyuterdan butunlay farq qiladi. Planshetlar faqatgina ekrandan tashkil topgan bo'lib, boshqa qo'shimcha qurilmalar (sichqoncha, klaviatura) virtual ko'rinishda tashkil etilgan. Planshetlar to'liqligicha mobil aloqa muhiti orqali Internet xizmatlaridan foydalanishga va hujjatlar bilan ishlashga ixtisoslashgan.

Mobil aloqa vositalari yordamida axborot almashish: Bluetooth, SMS va MMS. Mobil aloqa vositalari yordamida axborotlarni uzatish Bluetooth, SMS va MMS texnologiyalari yordamida amalga oshiriladi.

Bluetooth – kichik qamrov doirasiga ega bo'lgan simsiz aloqa texnologiyasi. Tarmoq qurilmalari orasidagi o'zaro muloqotni va ularning Internetga ulanishini engillashtiradi. U, shuningdek, turli elektron qurilmalari va kompyuterlar orasida ma'lumotlar almashishni osonlashtiradi. Bluetooth kichik ma'lumot oqimlarini uzatish uchun mo'ljallangan, shuning uchun mahalliy va global tarmoq texnologiyalarining o'rini bosa olmaydi.

SMS (Short Message Service) – qisqa xabarlar xizmati. Mobil aloqa tarmoqlarida abonentlarning bir-birlariga qisqa matn xabarlarini uzatish va qabul qilish xizmati hisoblanadi. Qisqa xabarlar deyilishiga asosiy sabab texnologik jihatdan bir xabar uzatishda 140 ta belgini uzatish mumkin.

MMS (Multimedia Messaging Service) – GPRS texnologiyasiga asoslangan multimedia xabarlarini almashish xizmati. Xizmat rangli rasm, fotosurat, musiqa va hatto videoroliklarni uzatish va qabul qilish imkonini beradi. MMS texnologiyasi bevosita xabar matniga tasvir va musiqani biriktirishni nazarda tutadi. MMS-xabarlarni jo'natish-qabul qilish uchun, MMS xizmatni nafaqat telefon qurilmasi, balki mobil aloqa operatori ham qo'llashi zarur.

Mobil telefonlardan foydalanish va axborot almashish madaniyati. Mobil telefonlar va boshqa mobil aloqa vositalaridan foydalanganda so'zlashish madaniyatiga, xabarlarni yozish va elektron pochtdan foydalanish etikasiga hamda telefon apparatidan foydalanish qoidalariga rioya qilish zarur. Telefon orqali nojo'ya so'zlarni gapirish, turli nojo'ya xabarlarni jo'natishdan saqlanang.

Mavzu bo'yicha testlar

1. X – o'qi bo'ylab tarqalayotgan yassi elektromagnit to'lqinning tenglamasini aniqlang:

$$A) \frac{\partial^2 E_y}{\partial x^2} = \frac{1}{g^2} \frac{\partial^2 H_y}{\partial t^2}, \quad \frac{\partial^2 H_z}{\partial x^2} = \frac{1}{g^2} \frac{\partial^2 E_z}{\partial t^2}, \quad \text{bunda } g = \frac{C}{\sqrt{\epsilon\mu}};$$

$$B) \frac{\partial^2 E_y}{\partial x^2} = \frac{1}{g^2} \frac{\partial^2 E_y}{\partial t^2}, \quad \frac{\partial^2 H_z}{\partial x^2} = \frac{1}{g^2} \frac{\partial^2 H_z}{\partial t^2}, \quad \text{bunda } g = \frac{C}{\sqrt{\epsilon\mu}};$$

$$C) E_y^{(1)}(x) = \frac{1}{g^2} H_y^{(1)}(z), \quad H_z^{(1)}(x) = \frac{1}{g^2} E_z^{(1)}(x), \quad \text{bunda } g = \frac{C}{\sqrt{\epsilon\mu}};$$

2. Elektromagnit to'lqinning energiyasi (w_{BH}) va energiyasining zichligini (ω_{BH}) aniqlovchi ifodalarni toping:

$$A) W_{EH} = \left(\frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2} + \frac{\mu_0 \mu H^2}{2} \right) V, \quad \omega_{EH} = \frac{1}{2} \left(\epsilon_0 \epsilon E^2 + \frac{H^2}{\mu_0 \mu} \right)$$

$$B) W_{EH} = \left(\frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2} \right) V, \quad \omega_{EH} = \frac{B^2}{2\mu_0 \mu}$$

$$C) W_{EH} = \left(\frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2} + \frac{\mu_0 \mu H^2}{2} \right) V, \quad \omega_{EH} = \frac{1}{2} (\epsilon_0 \epsilon H^2 + \mu_0 \mu H^2)$$

3. Elektromagnit to'liqin energiyasi oqimining zichligi ($S = \omega_{EH} \vartheta$)-
Umov-Poyting vektori qanday ifoda yordamida aniqlanadi:

$$A) \vec{S} = [\vec{E} \cdot \vec{H}]; \quad B) \vec{S} = [\vec{E} \cdot \vec{\vartheta}]; \quad C) S = EH \cos \alpha; \quad D) S = EH$$

4. Agar ob'yektdan qaytgan radiosignal radiolakator antennisiga 200 mks dan keyin qaytib kelsa, ob'yekt radialakator antennasidan qancha uzoqlikda:

A) 30 km; B) 450 km; C) 90 km; D) 60 km.

5. Elektromagnit maydon uchun Maksvell tenglamalarining integral ko'rinishini aniqlang:

$$A) \oint_l E_l dl = -\frac{d\Phi}{dt}, \quad \oint_s D_n dS = 0,$$

$$B) \oint_l E_l dl = 0, \quad \oint_s D_n dS = q,$$

$$\oint_l H_l dl = \sum_i J_i \int_s, \quad \oint_s B_n dS = 0$$

$$\oint_l E_l dl = -\int_s \frac{dB}{dt} dS, \quad \oint_s D_n dS = \int_v \rho_q V,$$

$$C) \oint_l H_l dl = \int_s \left(\vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) dS, \quad \oint_s B_n dS = 0$$

Mavzu bo'yicha savolla

1. Maksvell tenglamalardan yassi elektromagnit to'liqlar tenglamasini keltirib chiqaring va uning yechimlarini ko'rsatib bering.

2. Maksvell tenglamalaridan elektromagnit to'liqlarining muhitda va vakuumda tarqalish tezligini hisoblash formulasini chiqarib bering.

3. Elektromagnit to'liqlar oqimi energiyasining zichligini hisoblaydigan formulani chiqarib bering.

4. Umov-Poyting vektorining fizik ma'nosini asoslab bering va uning qo'llanishiga doir misollar keltiring.

5. Elementar dipolning nurlanish qonunlarini tushuntirib bering.

6. Gers vibratori qanday tuzilgan va uning ishlash prinsipi nimadan iborat?

7. Elektromagnit to'qlin deb nimaga aytiladi? Uning tarqalish tezligi nimaga teng?
8. Elektromagnit to'qlinlar manbai bo'ylib nima xizmat qiladi?
9. Elektromagnit to'qlinlarning mavjud bo'lishi uchun mumkin bo'lgan fizik jarayonlar nimadan iborat?
10. Elektromagnit to'qlinlar shkalasini qanday tasovur qilish mumkin va turli to'qlinlar nurlovchi manbalar nimalardan iborat?

Glossariy

Atamaning o'zbek tilida nomlanishi	Atamaning ingliz tilida nomlanishi	Atamaning rus tilida nomlanishi	Atamaning ma'nosi
Elektr zaryadlar.	Electric charge	Электрический заряд	Ikki xil jism bir- biriga ishqalansa yoki zich tegizilsa, ularning ikkalasida ham yengil narsalarni tortish xususiyati paydo bo'lishi.
Kulon qonuni.	Coulomb's law	Закон Кулона	Elektr zaryadlarining o'zaro, ta'sir kuchi 1785 yili Kulon tomonidan aniqlangan
Elektr maydon	Electric fields	Электрическая поля	Elektr zaryadi bo'lgan har qanday o'tkazgich atrofida hosil bo'ladigan maydoni
Elektr maydon kuchlanganligi.	Electric field strength	Напряженность электрического поля	E kattalik elektr maydonni, miqdoriy jihatdan xarakterlovchi fizik kattalikdir
Potensiallar ayirmasi (kuchlanish).	Potential difference (voltage)	Разность потенциалов(напряжения)	Elektr maydonida zaryadni 1 nuqtadan 2 nuqtaga ko'chirishda elektr maydon kuchlari bajaradigan ish
Kondensator.	Capacitor	Конденсатор	Elektr zaryadi to'plash va saqlash uchun xizmat qiladigan
Elektr sig'imi.	Electrical capacity	Електроёмкость	O'tkazgichning elektr zaryadlarini saqlab qolish qobiliyatiga aytiladi.
Elektr maydon energiyasi.	Electric field energy	Энергия электрического поля	O'tkazgichdagi zaryad qancha ko'p bo'lsa, uning atrofida hosil bo'lgan elektr maydoni shuncha kuchli bo'ladi.
O'zgarmas tok	D.C	Постоянный ток	Qiymati va yo'nalishi o'zgarmaydigan tok

Tok kuchi.	Current strength	Сила тока	O'tkazgich ko'ndalang kesimidan vaqt birligida o'tadigan zaryadlar miqdori
Elektr zanjir	Electrical circuit	Электрический цепь	Elektr energiya manbai, elektr iste'molchilari va ularni ulovchi simlardan tuzilgan zanjir
Rezistor.	Resistor	Резистор	Tokni cheklash uchun elektr zanjiriga ulanadigan tuzilma
Reostat	Rheostat	Реостат	Tokni cheklash va rostlab turish uchun elektr zanjiriga ulanadigan tuzilma
Elektroliz.	Electrolysis	Электролиз	Elektrolitlarga botirilgan elektrodلarni o'zgarmas tok manbaiga ulab, ion o'tkazuvchanlik asosida katoddan sof metall ajratib olish
Volt-amper xarakteristika	Volt-ampere characteristics	Вольт-амперная характеристика	Elektr zanjiridagi elementlardan o'tayotgan tokning ulardagi kuchla-nishga bog'lanishini ifodalovchi $I=I(U)$ grafigi
Magnit maydon.	Magnetic fields	Магнитная поля	Doimiy magnit va tokli o'tkazgich atrofida boshqa magnitga yoki tokli o'tqazgichga ta'sir etuvchi maydon
Magnit induksiyasi.	Magnetic induction	Магнитная индукция	magnit maydonning shu maydonda magnit chiziqlari yo'nalishiga perpendikulyar yo'nalishda harakatlanuvchi birlik zaryadga ta'sir kuchiga
Magnit oqimi.	Magnetic flux	Магнитный поток	Magnit induksiyasining vektorlari biror sirt orqali o'tgan oqimi

Chap qo'l qoidasi.	Left hand rules	Правила левой руки	Magnit maydoniga kiritilgan tokli o'tkazgichga ta'sir etuvchi kuchning yo'nalishi Ch. s. q. ga. binoan aniqlanadi.
Amper qonuni.	Ampere's law	Закон Ампера	Magnit maydoniga kiritilgan tokli o'tkazgichga uni maydon tashqarisi tomon itaruvchi elektromagnit kuch
Elektromagnit induksiya.	Electromagnetic induction	Электромагнитная индукция	Agar o'tkazgich magnit maydoi kuch chiziqlarini qandaydir tezlik bilan kesib o'tsa, bu o'tkazgich uchlarida potensiallar ayirmasi hosil bo'lishi
Lens qonuni.	Lenz's law	Закон Ленца	Elektromagnit kuchlar ta'sirida yuzaga kelgan har bir xarakat hodisasiga monand, muayyan elektromagnit induksiya hodisasi ro'y berishi
O'zinduksiya.	Self-induction	Само-индукция	Elektr zanjirdagi tokning o'zgarishidan shu zanjirda EYuKning hosil bo'lishi
Indukgivlik.	Inductance	Индуктивность	Biror elektr zanjiridagi tokdan hosil bo'lgan to'la magnit oqimining shu tokka nisbati
Elektr dvigatel.	Electrical engine	Электрический двигатель	Elektr energiyasini mexanik energiyaga aylantiruvchi mashina
potensial	potencial	потенциал	Turli nuqtalar qismlari orasida potensiallar ayirmasining hosil bo'lish hodisasi
Elektroliz	Electrolysis	Электролиз	Elektrolitlardan elektr toki o'tganda modda ajralib chiqish hodisasi

Elektroforez	Electrophoresis	Электрофорез	Odam va hayvonlar terisi orqali organizmga dori moddalar yuborish hodisasi
Galvanizatsiya	Galvanization	Гальванизация	Organizmni davolash uchun ishlatiladigan kichik toklar usuli
Dielektrik	Dielektrik	Диэлектрик	Elektr tokini o'tkazmaydigan materiallar
Dissosiasiya	Dissociation	Диссоциация	Molekulalarning ionlarga ajralish hodisasi
Magnit zondi	Magnetic probe	Магнитный зонд	Qattiq magnitlar yordamida qoramollar oshqozonidan temir buyumlarni olish usuli
Gisterezis	Gisterezis	Гистерезис	Magnit moddalarning magnitlanish vektorining magnit maydon kuchlanishidan bog'lanishini ko'rsatuvchi grafik
Tesla	Tesla	Тесла	Magnit induktsiyasining o'lchov birligi
Domenlar	Domeny	Домены	Ferromagnitlarda mavjud bo'lgan bir xil yo'nalishdagi qutblanish sohalari
Qutblanish	Polarization	Поляризация	Musbat va manfiy zaryadlarning turli tomonlarga siljishidan paydo bo'ladigan sistema
Ferrit	Ferrite	Феррит	Antiferromagnit turi

MUNDARIJA

§	So'zboshi.....	4
	Kirish.....	6
	Elektr maydoni	13
	1-mavzu. Elektrostatik maydon va uning xususiyatlari	13
§1.	Elektrostatika. Jismlarning elektrlanishi.	13
§2.	Elektr zaryadi. Zaryadning diskretligi. Elektr zaryadining saqlanish qonuni.	13
§3.	Kulon qonuni. Elektrostatik maydon kuchlanganligi.	15
§4.	Nuqtaviy zaryad maydonining kuchlanganligi. Superpozitsiya prinsipi.....	17
	2-mavzu. Elektr maydon oqimi	23
§5.	Vakuumdagi elektrostatik maydon uchun Ostrogradskiy-Gauss teoremasi va uning sodda elektr maydonlarini hisoblashda qo'llanilishi.	23
§6.	Elektrostatik maydon kuchlarining bajargan ishi. Elektrostatik maydon kuchlanganlik vektorining sirkulyasiyasi.	26
§7.	Elektrostatik maydon potentsiali. Nuqtaviy zaryad va zaryadlar tizimi maydonlarining potentsiali.....	29
§8.	Elektrostatik maydon kuchlanganligi bilan potentsiali orasidagi bog'lanish. Elektr dipoli va uning maydoni.....	31
	3-mavzu. Elektrostatik maydondagi dielektrik	35
§9.	Dielektriklarning turlari. Dielektriklarning qutblanishi.....	35
§10	Elektr siljish vektori. Dielektrik singdiruvchanlik.....	38
§11	Muhitdagi elektr maydon uchun Gauss teoremasi. Pezoelektriklar, segnetoelektriklar va ularning texnikada qo'llanilishi.....	40
	4-mavzu. Elektrostatik maydondagi o'tkazgichlar	46
§12	Elektr maydonga kiritilgan o'tkazgichdagi zaryadlarning taqsimlanishi. Elektrostatik induksiya qonuni. Elektr sig'imi.	46

§13	Kondensatorlar. Kondensatorlarni ketma-ket va parallel ulash. Elektr zaryadlarining o'zaro ta'sir energiyasi.	48
§14	Zaryadlangan o'tkazgichlar tizimining energiyasi.....	51
§15	Zaryadlangan kondensator energiyasi. Elektrostatik maydon energiyasi va uning zichligi.....	53
	O'zgarmas elektr toki.	56
	5-mavzu. O'zgarmas tok qonunlari	56
§16	O'tkazgichlardagi elektr toki. Elektr tokining mavjud bo'lish shartlari.....	56
§17	Tok kuchi. Kuchlanish. Qarshilik. O'ta o'tkazuvchanlik.....	58
§18	Metallar elektr o'tkazuvchanligining klassik nazariyasi. O'zgarmas elektr toki qonunlari.....	63
§19	O'zgarmas tokning bajargan ishi va quvvati. Om va Joule-Lenz qonunlarining differensial va integral ko'rinishlari.....	66
§20	Tashqi kuchlar. Elektr yurituvchi kuch.....	69
§21	O'zgarmas tok manbalari. Akkumulyatorlar va galvanik elementlar.	71
§22	To'liq zanjir uchun Om qonuni. Tarmoqlangan zanjir uchun Kirxgof qoidalari.....	74
	6-mavzu. Suyuqliklarda elektr toki	80
§23	Suyuqliklarda elektr toki. Elektrolitlar. Kationlar va anionlar. Ionlarning rekombinatsiyalanishi.	80
§24	Elektrolitik dissotsiatsiya. Elektroliz hodisasi.....	81
§25	Elektroliz uchun Faradey qonunlari. Elektrokimyoviy ekvivalent. Kimyoviy ekvivalent.	83
§26	Texnikada elektrolizning qo'llanilishi	85
	7-mavzu. Gazlarda elektr toki	88
§27	Gazlarda elektr toki. Ionlanish va rekombinatsiyalanish jarayonlari. Gaz razryadining to'liq volt-amper xarakteristikasi.	88
§28	Mustaqil va mustaqil bo'lmagan gaz razryadlari.	89

§29	Mustaqil gaz razryadlarining turlari va ularning qo'llanilishi.	90
§30	Plazma haqida tushuncha.....	91
	8-mavzu. Vakuumdada va yarim o'tkazgichlarda elektr toki	94
§31	Vakuumdada elektr toki. Elektronlar dastasi. Elektronlar emissiyasi....	94
§32	Termoelektron emissiya. Elektron lampalar. Boguslavskiy-Lengmyur tenglamasi.....	96
§33	Diod va triod. Yarim o'tkazgichlarda elektr toki.....	102
§34	Yarimo'tkazgichlarning xususiy va aralashmali o'tkazuvchanligi.....	103
§35	Berkituvchi qatlam. Yarim o'tkazgichlar uchun zonalar nazariyasi. Fermi sathi.....	112
§36	Yarim o'tkazgichli to'g'rilagichlar, kuchaytirgichlar va termoelektr batareyalari.	116
§37	Fotoelektrik elementlar quyosh batareyalari.....	121
	Magnit maydoni va uning xarakteristikallari	125
	9-mavzu. Vakuumdada toklarning magnit maydoni	125
§38	Magnit maydoni. Doimiy magnit va aylanma tok va ularning magnit maydoni.	125
§39	Magnit maydon induksiya vektori. Magnit maydon induksiyasi vektori uchun superpozitsiya prinsipi.....	131
§40	Bio-Savar-Laplas qonuni. To'g'ri va aylanma tokning magnit maydonini hisoblash.	133
§41	Tokli o'tkazgichlarning o'zaro magnit ta'siri.....	139
	10-mavzu. Magnit maydonning tokli o'tkazgich va elektr zaryadlariga ta'siri	142
§42	Amper kuchi. Parallel toklarning o'zaro ta'siri.	142
§43	Magnit maydonning xarakatdagi zaryadga ta'siri.	143
§44	Lorens kuchi. Bir jinsli magnit maydonida zaryadli zarralar harakati...	145
§45	Xoll effekti. Tezlatgichlar.....	147

	Vakuumdagi magnit maydon induksiya vektorining sirkulyasiyasi va oqimi	153
§46	Vakuumdagi magnit maydon induksiya vektorining sirkulyasiyasi haqidagi teorema.....	153
§47	Solenoid va toroidning magnit maydon induksiyasi. Magnit maydon oqimi.....	154
§48	Vakuumdagi magnit maydon uchun Gauss teoremasi. Bir jinsli magnit maydonidagi tokli ramka.	156
§49	Tokli o'tkazgich va konturni magnit maydonida ko'chirishdagi bajarilgan ish.....	158
	Elektromagnit induksiya hodisasi	162
§50	Faradey tajribalari. Faradeyning elektromagnit induksiya qonuni. Lens qoidasi.....	162
§51	O'zinduksiya hodisasi. Induktivlik. Fuko toklari.	163
§52	Elektr zanjirini ulash va uzishdagi ekstratoklar.....	164
§53	O'zaro induksiya. Transformatorlar.	166
§54	Magnit maydon energiyasi va uning zichligi.....	169
	Moddalarning magnit xususiyatlari	173
§55	Moddadagi magnit maydon. Molekulyar toklar. Magnitlanish vektori.	173
§56	Muhitlardagi magnit maydon uchun to'la tok qonuni.....	174
§57	Magnetiklarning turlari. Diamagnetiklar.....	181
§58	Paramagnetiklar. Ferromagnetiklar va gisterezis hodisasi.....	185
	Elektromagnit tebranishlar va to'lqinlar.	195
	Elektromagnit tebranishlar.	195
§59	Tebranish konturidagi fizik jarayonlar. Tomson formulasi.....	195
§60	Majburiy elektr tebranish tenglamasi. Majburiy tebranish fazasi. Kuchlanish rezonansi.....	199
§61	Tok rezonansi. O'zgaruvchan tok.	204
§62	O'zgaruvchan tok zanjirida qarshilik, sig'im va induktivlik.	209

§63	O'zgaruvchan tok zanjirida to'la qarshilik - impedans.....	211
§64	O'zgaruvchan tok zanjiri uchun Om qonuni.	212
§65	Potensiometrlar. Uitston ko'prigi.....	214
§66	O'zgaruvchan tok quvvati. Quvvat koeffisienti. Tok generatorlari.....	216
	Elektromagnit to'lqinlar	223
§67	Elektromagnit to'lqinlar shkalasi. Elektromagnit to'lqinlarning tarqalish tezligi.....	223
§68	Elektromagnit to'lqinlar va ularning nurlanishi, elektromagnit to'lqinlarning xossalari.....	225
§69	Gers vibratori. Elektromagnit to'lqinlar shkalasi.....	228
§70	Elektromagnit to'lqin energiya zichligi va energiya oqimining zichligi.....	231
§71	Poyting vektori. Elektromagnit to'lqinlarni qo'llanishi	232
§72	Radioaloqa prinsipi. Televideniening fizik asoslari. Mobil aloqa.....	234
	Glasariy	245
	Mundarij	249
	Adabiyotlar	254

	Vakuumdagi magnit maydon induksiya vektorining sirkulyasiyasi va oqimi	153
§46	Vakuumdagi magnit maydon induksiya vektorining sirkulyasiyasi haqidagi teorema.....	153
§47	Solenoid va toroidning magnit maydon induksiyasi. Magnit maydon oqimi.....	154
§48	Vakuumdagi magnit maydon uchun Gauss teoremasi. Bir jinsli magnit maydonidagi tokli ramka.	156
§49	Tokli o'tkazgich va konturni magnit maydonida ko'chirishdagi bajarilgan ish.....	158
	Elektromagnit induksiya hodisasi	162
§50	Faradey tajribalari. Faradeyning elektromagnit induksiya qonuni. Lens qoidasi.....	162
§51	O'zinduksiya hodisasi. Induktivlik. Fuko toklari.	163
§52	Elektr zanjirini ulash va uzishdagi ekstratoklar.....	164
§53	O'zaro induksiya. Transformatorlar.	166
§54	Magnit maydon energiyasi va uning zichligi.....	169
	Moddalarning magnit xususiyatlari	173
§55	Moddadagi magnit maydon. Molekulyar toklar. Magnitlanish vektori.	173
§56	Muhitlardagi magnit maydon uchun to'la tok qonuni.....	174
§57	Magnetiklarning turlari. Diamagnetiklar.....	181
§58	Paramagnetiklar. Ferromagnetiklar va gisterezis hodisasi.....	185
	Elektromagnit tebranishlar va to'lqinlar.	195
	Elektromagnit tebranishlar.	195
§59	Tebranish konturidagi fizik jarayonlar. Tomson formulasi.....	195
§60	Majburiy elektr tebranish tenglamasi. Majburiy tebranish fazasi. Kuchlanish rezonansi.....	199
§61	Tok rezonansi. O'zgaruvchan tok.	204
§62	O'zgaruvchan tok zanjirida qarshilik, sig'im va induktivlik.	209

§63	O'zgaruvchan tok zanjirida to'la qarshilik - impedans.....	211
§64	O'zgaruvchan tok zanjiri uchun Om qonuni.	212
§65	Potensiometrlar. Uitston ko'prigi.....	214
§66	O'zgaruvchan tok quvvati. Quvvat koeffisienti. Tok generatorlari.....	216
	Elektromagnit to'lqinlar	223
§67	Elektromagnit to'lqinlar shkalasi. Elektromagnit to'lqinlarning tarqalish tezligi.....	223
§68	Elektromagnit to'lqinlar va ularning nurlanishi, elektromagnit to'lqinlarning xossalari.....	225
§69	Gers vibratori. Elektromagnit to'lqinlar shkalasi.....	228
§70	Elektromagnit to'lqin energiya zichligi va energiya oqimining zichligi.....	231
§71	Poyting vektori. Elektromagnit to'lqinlarni qo'llanishi	232
§72	Radioaloqa prinsipi. Televideniening fizik asoslari. Mobil aloqa.....	234
	Glasariy.....	245
	Mundarij.....	249
	Adabiyotlar.....	254

Foydalanilgan adabiyotlar royxati

Asosiy adabiyotlar

1. Robert G. Brown. "Introductory Physics I". Duke University Physics Department Durham, 2013.
2. Robert G. Brown. "Introductory Physics II". Duke University Physics Department Durham, 2013.
3. Marshal L. Burns. "Modern Physics" for science and engineering. Tuskegee University. USA. 2012.
4. Simpson. D. G. "General Physics I". Maryland. USA. 2014.
5. Axmadjanov O. Физика kursi. 1- 3 T. – T. "O'qituvchi", 1987
6. Trofimova T. I. Курс физики., М. Высшая школа., 1990
7. Grabovskiy R. I. Fizika kursi. – T. "O'qituvchi". 1980
8. I.V. Savelev-Umumiy fizika kursi. Moskva.:Astrel. 2004 (darslik)
9. M. Ismoilov, P.Habibullaev, M.Xaliullin. "Fizika kursi". T. O'zbekiston.2000 (darslik)
10. O.Raximov, N.Mamatkulov "FIZIKA" Turon nashryoti, Samarqand, 2021

Qo'shimcha adabiyotlar

1. Mirziyoev SH.M. Qonun ustuvorligi va inson manfaatlarini ta'minlash yurt taraqqiyoti va xalq farovonligining garovi. "O'zbekiston" NMIU, 2017. -47 b.
2. Мирзиёев Ш.М. Буюк келажакимизни мард ва олижаноб халқимиз билан бирга қурамыз. Т. "Ўзбекистон". 2016й. 486бет.
3. Мирзиёев Ш. М. Танқидий таҳлил, катъий тартиб-интизом ва шахсий жавобгарлик – ҳар бир раҳбар фаолиятининг кундалик қондаси бўлиши керак. Мамлакатимизни 2016 йилда ижтимоий-иқтисодий ривожлантиришнинг асосий якунлари ва 2017 йилга мўлжалланган иқтисодий дастурнинг энг муҳим устувор йўналишларига бағишланган Вазирлар Маҳкамасининг кенгайтирилган мажлисидаги маъруза, 2017 йил 14 январь. – Тошкент: «Ўзбекистон», 2017.
4. Orifjonov. S. "Elektromagnetizm", T., "Noshir" 2011 y.
5. Ismailov E., Mamatkulov N., .Xodjaev G', Norboev. N. T. "Biofizika" Cho'lon., 2013.

6. Ismailov E., Mamatkulov N., Xodjaev G', Norboev. Q. N. "Biofizika va radiobiologiya" Sano-Standart., 2018.

7. Volkenshteyn V. S. Umumiy fizika kursidan masalalar to'plami. – T. "O'qituvchi", 1992.

8. Ahmedjanov O.I. "Fizika kursi 2 tom. Elektr va magnetizm" T. O'qituvchi

1984

9. Raymond A. Serway - Emeritus: Physics for Scientists and Engineers, James

10. Madison University. John W. Jewett - California State Polytechnic University, Pomona. 2004(darslik).

11. General Physics Laboratory Handbook, A Description of Computer-Aided

Experiments in General Physics, Group II. D.D. Venable, A.P. Batra, T. Hubsch, D. Walton and M. Kamal. Department of Physics and Astronomy. Howard University Washington, DC 2009 (darslik).

Интернет сайтлари

1. [www. physicon. Ru](http://www.physicon.ru)

2. www.ru.wikipedia.org/...Fizika

3. [www. Fizhelp.ru/section 25/](http://www.Fizhelp.ru/section 25/)

4. www. Ref.uz.

5. [www. bilimdon. uz](http://www. bilimdon.uz). – O'zbekiston Respublikasi oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligining veb sayti.

6. www.zivonet.uz – internet ta'lim veb sayti.

7. www.de.uz. – Masofaviy ta'lim tizimi veb sayti.

8. <http://www.rsl.ru/> - Rossiyskaya gosudarstvennaya biblioteka (Rossiya davlat kutubxonasi)

N. Mamatkulov

F I Z I K A

(ELEKTR VA ELEKTROMAGNETIZM)

Darslik

*Oliy ta'lim muassasalarining 60711400 – Texnologik
jarayonlar va ishlab chiqarishni avtomatlashtirish
va boshqarish (qishloq xo'jaligi) talim yo'nalishi
talabalari uchun mo'ljallangan*

Toshkent, “Fan ziyosi” nashriyoti, 2023, 256 bet

“Fan ziyosi” nashriyoti MCHJ

**Litsenziya № 3918, 18.02.2021.
Manzil: Toshkent, Navoiy ko'chasi, 30**

**Nashriyot direktori
Muharrir
Texnik muharrir**

**I.Xalilov
N.Tojiqulova
L.Fayziyev**

ISBN: 978-9943-9225-5-6

**Bosishga ruxsat etildi 01.03.2023 yil.
Qog'oz bichimi 60x84 $\frac{1}{16}$. Times New Roman garniturası.
Shartli hisob tabog'i – 16,0. Nashriyot hisob tabog'i – 15,0
Adadi 100 nusxa. Buyurtma № 02/5**

**««Sogdiana ideal print» MCHJda chop etildi.
Samarqand sh., Tong k.,55.**

N. Mamatkulov

F I Z I K A

(ELEKTR VA ELEKTROMAGNETIZM)

Darslik

*Oliy ta'lim muassasalarining 60711400 – Texnologik
jarayonlar va ishlab chiqarishni avtomatlashtirish
va boshqarish (qishloq xo'jaligi) talim yo'nalishi
talabalari uchun mo'ljallangan*

Toshkent, “Fan ziyosi” nashriyoti, 2023, 256 bet

“Fan ziyosi” nashriyoti MCHJ

Litsenziya № 3918, 18.02.2021.

Manzil: Toshkent, Navoiy ko'chasi, 30

Nashriyot direktori
Muharrir
Texnik muharrir

I.Xalilov
N.Tojiqulova
L.Fayziyev

ISBN: 978-9943-9225-5-6

Bosishga ruxsat etildi 01.03.2023 yil.
Qog'oz bichimi 60x84 $\frac{1}{16}$. Times New Roman garniturası.
Shartli hisob tabog'i – 16,0. Nashriyot hisob tabog'i – 15,0
Adadi 100 nusxa. Buyurtma № 02/5

««Sogdiana ideal print» MCHJda chop etildi.
Samarqand sh., Tong k.,55.



Mamatkulov Nuriddin 1959 yilda Samarqand viloyati Samarqand tumani Farkhron qishlog'ida tug'ilgan.

1974 yilda Samarqand davlat universiteti fizika fakultetini tamomlagan. 1978-1981 yillarda Sankt-Peterburgdagi fizika-texnika institutida tadqiqotchi-islomuvchi va aspiranturada tahsil olgan. 1981 yilda "Segnetoelektriklardagi o'lchamsiz fazani akustik, optik, dielektrik usullar yordamida o'rganish" mavzusida nomodlik dissertatsiyasini Leningrad fizika-texnika institutida yoqlagan. 1987 yildan Samarqand qishloq xo'jalik instituti "Fizika va kimyo" kafedrasida assistent, 2001 yildan dotsent vazifasida, 2018 yildan Samarqand veterinariyasi tabiiy va ilmiy fanlar kafedrasida, 2021 dan SamDVMCHBU tabiiy fanlar kafedrasida ishlaymunda. N. Mamatkulov 150 dan ortiq ilmiy va o'quv-uslubiy ishlar uallifi.

2013 yilda «Cho'lpon» nashryotida «Biofizika» darsligi chop etildi. 2018 yilda «Sano-Standart» nashryotida «Biofizika va radiobiologiya» darsligi nashr etildi. 2021 yilda Farkhron qishloq xo'jalik instituti nashryotida «Fizika» o'quv qo'llanmasi chop etildi.

2021 yil SamDUDA «Segnetoelektriklardagi o'lchamsiz fazani o'rganish va ularning tadbqiqi» mavzusida monografiyasi chop etildi.

2022 yilda SamDUDA «Biofizika va radiobiologiyadan amaliy laboratoriya mashg'ulotlari» o'quv qo'llanmasi chop etildi.

