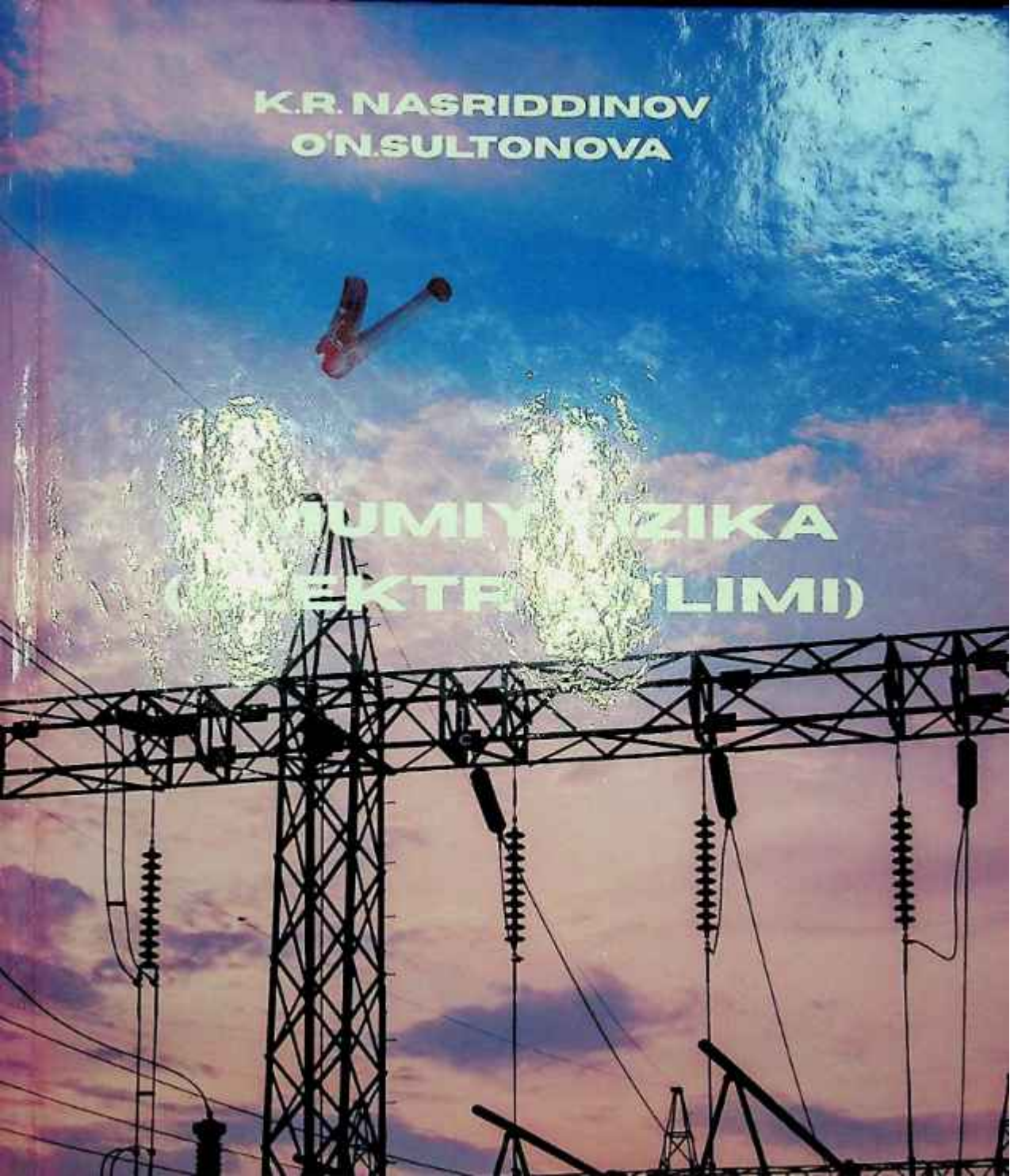


K.R. NASRIDDINOV
O'N. SULTONOVA

FIZIKA
(ELEKTROSTATIKA)



O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
IY TA'LIM, FAN VA INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI

TERMIZ DAVLAT MUHANDISLIK VA
AGROTEKNOLOGIYALAR UNIVERSITETI

K.R.NASRIDDINOV, O'.N.SULTONOVA

UMUMIY FIZIKA (Elektr bo'limi)
Texnika oliy ta'lim muassasalari talabalari uchun darslik

DARSLIK

Termiz – 2025 y



UO'K: 53(075.8)

KBK: 22.3ya73

N 27

**K.R.Nasriddinov, O'.N.Sultonova. Umumiy fizika (Elektr bo'limi).
darslik. – Termiz. Termiz publishing center – 2025 – yil. 296 b.**

**Nasriddinov K.R. – Chirchiq davlat pedagogika universiteti
professori, f.-m.f.d., professor**

**Sultonova O'.N. – Termiz davlat umuhandislik va
agrotexnologiyalar universiteti professori, p.f.d., professor**

Darslik O'zbekiston respublikasi oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar
vazirligining 2025-yil 14-apreldagi 136 – sonli buyrug'i bilan nashrga
tavsiya etilgan (guvohnoma 837892)

ISBN: 978-9910-567-21-6

**© K.R.Nasriddinov, O'.N.Sultonova, 2025
© TERMIZ PUBLISHING CENTER, 2025**

ANNOTATSIYA

Ushbu darslik O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining "Uzluksiz ta'lim tizimini darslik va o'quv adabiyotlari bilan ta'minlashni takomillashtirish to'g'risida"gi 2009-yil 5-yanvar 4-son qaroriga muvofiq texnika oily ta'lim muassasalarining 60712100 – Metallurgiya, 60721500 – Konchilik ishi, 60721900 – Konchilik elektr mexanikasi, 60720800 – Mashinasozlik texnologiyasi, mashinasozlik ishlab chiqarishni jihozlash va avtomatlashtirish, 60720300 – Texnologik mashinalar va jihozlar, 60710100 – Kimyoviy texnologiya (ishlab chiqarish turlari bo'yicha), 60710700 – Elektrotexnika, elektromexanika va elektrotexnologiyalar, 5320300 – Texnologik mashinalar va jihozlar, 5310600 – Yer usti transport tizimlari va ularning ekspluatatsiyasi yo'nalishlari bakalavr talabalariga mo'ljallangan bo'lib, unda Umumiy fizika fanining Elektr bo'limidan barcha mavzular bayoni berilgan. Mavzularni mustahkamlash uchun xizmat qiluvchi savol va masalalar bilan ham ta'minlangan. Darslikda fizikaviy masalalarni yechishning qiziqarli, sodda va qulay usullari bilan birga ko'plab hayotiy va qiziqarli masalalar ham o'rin olgan. Ushbu darslik texnika oliy ta'lim muassasalari Umumiy fizika fanining fan dasturi asosida tayyorlangan.

Данный учебник предназначен для студентов направлений бакалавриата 60712100 – Metallurgiya, 60721500 – Горное дело, 60721900 – Горная электромеханика, 60720800 – Технология машиностроения, оборудование и автоматизация машиностроения, 60720300 – Технологические машины и оборудования, 60710100 – Химическая технология (по отраслям производства, 60710700 – Электротехника, электромеханика и электротехнологии, 5320300 – Технологические машины и оборудования, 5310600 – Системы наземного транспорта и их эксплуатации технических высших учебных заведений, согласно Постановлению №4 «Об усовершенствованию обеспечения учебниками и учебной литературой системы непрерывного образования» от 5 января 2009 года Кабинета Министров Республики Узбекистан и охватывает все темы по разделу электричества Общей физики. Учебник также снабжен вопросами задачами для закрепления теоретических материалов.

Продемонстрированы также интересные, простые и удобные методы решения задач, а также имеются множество интересных и жизненных физических задач для решения студентами. Данный учебник подготовлен на основе программы вышеуказанных направлений бакалавриата высших технических учебных заведений.

This textbook is intended for undergraduate students in the fields of 60712100 – Metallurgy, 60721500 – Mining, 60721900 – Mining Electromechanics, 60720800 – Machinery technology, equipment and automation of machinery, 60720300 – Technological machinery and equipment, 60710100 – Chemical technology (on braches of industry), 60710700 – Electrical Engineering, electromechanics and electrical engineering, 5320300 – Technological machinery and equipment, 5310600 – Ground transport systems and their operation of technical higher educational institutions, according to Resolution No. 4 "On improving the provision of textbooks and educational literature to the continuing education system" dated January 5, 2009 of the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan, and covers all topics in the field of electricity of General physics. The textbook is also provided with questions and tasks to consolidate theoretical materials. Interesting, simple and convenient problem solving methods are also demonstrated, and there are many interesting and everyday physical tasks for students to solve. This textbook has been prepared on the basis of the Bachelor's degree program of higher technical educational institutions.

SO‘Z BOSHI

Prezidentimiz Sh.M.Mirziyoyevning bevosita tashabbuslari bilan ishlab chiqilgan “Harakatlar strategiyasidan – Taraqqiyot strategiyasi sari” tamoyiliga asosan ishlab chiqilgan “2022-2026 – yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasi” yettita ustuvor yo‘nalishdan iborat bo‘lib, davlat va jamiyat hayotining barcha jabhalarini qamrab olganligi bilan ahamiyatlidir. Mazkur strategiya ijtimoiy – iqtisodiy hayotimizni har tomonlama jadal rivojlantirish yo‘lini rejalashtirib berdi. Taraqqiyot strategiyasining ta‘lim va fan sohasini rivojlantirishga oid 4 – bandi “Ta‘lim va fan sohasini rivojlantirish” deb nomlangan bo‘lib, “Ilmiy – tadqiqot va innovatsion faoliyatni rag‘batlantirish, ilmiy va innovatsiya yutuqlarini amaliyotga joriy etishning samarali mexanizmlarini yaratish, oliy ta‘lim muassasalari va ilmiy – tadqiqot institutlari huzurida ixtisoslashtirilgan ilmiy – tadqiqot laboratoriyalari va yuqori texnologiyalar markazlari va texnoparklarni tashkil etish” kabi masalalar ustuvor vazifa etib belgilangan. Hamda prezident Sh.M.Mirziyoyevning “Erkin va farovon demokratik O‘zbekiston davlatini birgalikda barpo etamiz” deb nomlangan asarida mamlakatimizda oliy ta‘lim tizimini tubdan takomillashtirish, ularning moddiy-texnik negizini mustahkamlash, pedagog kadrlar tayorlash tizimini tubdan yangilash bo‘yicha amalga oshirilayotgan islohotlar natijasida ta‘lim jarayoni sifatini yangi bosqichga olib chiqish oliy ta‘lim muassasalarida raqamlashtirishli yondashuv, fikrlar va yangi innovatsion g‘oyalar asosida ta‘limning yangi modelini yaratish dolzarb masala deb ta‘kidlanadi. Shu bois ushbu darslik barcha texnika oliy ta‘lim muassasalarining talabalari uchun muhandis – texnik, texnolog bakalavrlar uchun mo‘ljallangan bo‘lib, u amaldagi “Kadrlar tayyorlash milliy dasturi” va “Davlat ta‘lim standartlari”ga hamda fizika fani o‘qitishning fan dasturiga asoslanib yaratildi. Unda Umumiy fizika kursining Elektr bo‘limidagi asosiy mavzularini qamrab olindi. Masalalar yechishni o‘rganish talabalarning aqliy rivojlanishiga imkon beradi, mantiqiy taffakur, xotira, diqqat va idrokning o‘rishiga yordam beradi. Masalalarni yecha olishlik fizika fanini o‘rganish va o‘zlashtirishning asosiy mezonidir. Mavzularni o‘rganish jarayonida masalalar yechish jarayonida talabalar

tabiat, texnika va turmushdagi turli fizik hodisalarni tahlil qilishda o'z bilimlarini qo'llash uchun bilim va malaka hosil qiladilar.

Shuning bilan birgalikda talabalarning fizikaviy taffakkurini shakllantiradigan, ularga amaliy bilim va malakalar beradigan, vaqtlarini tejaydigan namunaviy masalalarni yechishning eng umumiy hamda muhim usullari bilan tanishtirish asosiy maqsad qilib qo'yilgan. Darslikning maqsadi-talabalarni mavzularni o'zlashtirishda masala yechishga o'rgatishdir, bu esa ma'ruza mashg'ulotlarida olingan nazariy bilimlarni mustahkamlash, ularda mustahkam nazariy bilim, nazariy va amaliy malakalar hosil qilishda yordam beradi.

1-§. Elektrostatik maydon va uning xususiyatlari

Reja:

1. Elektrostatika.

2. Elektr zaryadining saqlanish qonuni.

3. Elektrostatik maydon kuchlanganligi.

4. Superpozitsiya prinsipi.

Mavzular mazmuni: Elektrostatika. Elektr zaryadi. Zaryadning diskretligi. Elektr zaryadining saqlanish qonuni. Kulon qonuni. Elektrostatik maydon kuchlanganligi. Nuqtaviy zaryad maydonining kuchlanganligi. Superpozitsiya prinsipi. Vakuumdagi elektrostatik maydon uchun Gauss teoremasi va uning sodda elektr maydonlarini hisoblashda qo'llanilishi. Elektrostatik maydon kuchlarining bajargan ishi.

Tayanch iboralar: elektrostatika, diskretlik, kuchlanganlik, superpozitsiya prinsipi, maydon potentsiali, elektr dipoli.

Elektr o'zaro ta'sir. Tajribalar ko'rsatishicha, zaryadlangan va magnitlangan jismlar, shuningdek elektr toki oqayotgan jismlar orasida elektromagnit kuchlar deb ataluvchi o'zaro ta'sir kuchlari mavjuddir. Jismlar orasidagi bu o'zaro ta'sir elektromagnit maydon deb ataluvchi o'ziga xos vositachi materiya orqali uzatiladi.

Elektromagnit maydon nazariyasining asoschisi Faradey bir jismning boshqasiga ta'siri ularni bir-biriga tekkazish orqali yoki elektromagnit maydon deb ataluvchi, oraliq muhit orqali uzatilishi mumkin deb hisobladi.

Maksvell esa, Faradeyning asosiy g'oyalarini matematik shaklda ifodalab, elektromagnit to'lqinlar mavjudligini ko'rsatib berdi va ularning tarqalish tezligi yorug'likning vakuumdagi tezligiga mos ekanligini isbotladi.

Atom – molekulyar nazariyaga asosan, o'zaro ta'sir kuchlari jismni tashkil etuvchi zaryadli zarrachalar orasidagi elektr o'zaro ta'sir natijasidir. Bundan, elektromagnit maydon haqiqatan ham mavjudligi va u materiyaning bir ko'rinishi ekanligi kelib chiqadi. Elektromagnit maydon energiya, impuls va boshqa fizikaviy xususiyatlarga ega.

Zaryadlangan A jism atrofidagi fazoda elektr maydon hosil bo'ladi. Bu maydon unga kiritilgan boshqa biror bir zaryadlangan B jismga ko'rsatayotgan ta'siri orqali namoyon bo'ladi. Lekin, shuni ta'kidlash lozimki, A jismning zaryadlari hosil qilgan maydon boshqa zaryadlangan jism joylashtirilmaganda ham fazoning har bir nuqtasida mavjuddir. Elektromagnit maydon mavjud bo'lgan fazo-efir yoki vakuum deb ataladi.

Elektron nazariyaning asosiy g'oyasini zamonaviy fizika tilida quyidagicha ifodalash mumkin: har qanday modda atomi musbat zaryadli atom yadrosidan va manfiy zaryadli elektronlardan tashkil topgan. Elektr zaryadi ayrim elementar zarrachalarning muhim xususiyati hisoblanib, bu zarrachalarning zaryadi e – elementar zaryadga teng.

Har qanday q zaryad bir qancha elementar zaryadlardan tashkil topganligi tufayli, u doimo e – ga karrali bo'ladi. $q = \pm Ne$, Protonning massasi $1.67 \cdot 10^{-27}$ kg, elektronning massasi esa $9.11 \cdot 10^{-31}$ kg. Neytronning massasi protonning massasidan ozgina og'iridir.



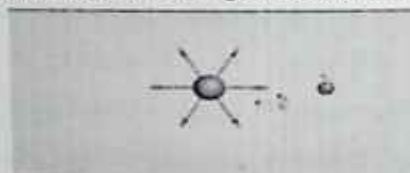
1.1-rasm. Elektr zaryadi

Har xil inertial sanoq tizimlarda o'lchanadigan zaryad miqdori bir xil bo'lgani uchun u relyativistik invariant kattalikdir. Boshqacha qilib aytganda, zaryad miqdori zaryad harakatda bo'lsa ham, tinch holatda bo'lsa ham bir xildir.

Elektr zaryadlari paydo bo'lishi va yo'qolishi mumkin, ammo bu holda albatta har xil ishorali ikkita zaryad bo'lishi shart.

Elektr manbadan ajratilgan tizimlarda zaryadlar yig'indisi o'zgarmas bo'ladi va bu zaryadlarning *saqlanish qonuni* deb ataladi.

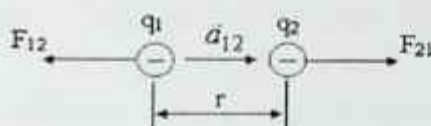
Agar sinov zaryadi erkin bo'lib va ikkalasi ham musbat bo'lsa, sinov zaryadi elektr maydon ta'sirida tashqariga harakatlanadi:



$$q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n = \sum_{i=1}^n q_i \quad (1.1)$$

1.2-rasm. Zaryadlarning saqlanish qonuni

Kulon qonuni. Nuqtaviy zaryad deb, shunday zaryadlangan jismga aytiladiki,



1.3-

rasm. Kulon qonuni

uning o'lchamlari boshqa zaryadlangan jismlargacha bo'lgan masofaga nisbatan sezilarli darajada kichik bo'lishi kerak.

Kulon buralma tarozi orqali nuqtaviy zaryadlar orasidagi o'zaro ta'sir kuchini, ularning zaryadlari miqdori va oralaridagi masofaga bog'liqligini o'rgandi va quyidagi xulosaga keldi: *ikkita qo'zg'almas nuqtaviy zaryadlar orasidagi o'zaro ta'sir kuchi zaryadlarning har birining miqdorlari ko'paytmasiga to'g'ri proporsional va ular orasidagi masofaning kvadratiga teskari proporsionaldir.*

Kuchning yo'nalishi zaryadlarni tutashtiruvchi to'g'ri chiziq bo'ylab yo'nalgandir

$$\vec{F}_{12} = -k \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{a}_{12}, \quad (1.2)$$

bu yerda, k – proporsionallik koeffitsienti, q_1 va q_2 ta'sirlashuvchi zaryadlar miqdori, r – zaryadlar orasidagi masofa, $\vec{a}_{12}$ – q_1 zaryaddan q_2 zaryadga yo'nalgan birlik vektor, $\vec{F}_{12}$ – q_1 zaryadga q_2 zaryad tomonidan ta'sir etuvchi kuchdir.

$\vec{a}_{12}$ – birlik vektor bilan o'zaro ta'sir kuchning yo'nalishini belgilasak,

$\vec{F}_{12}$ – kuch $\vec{F}_{12}$ kuchdan yo'nalishi va ishorasi bilan farq qiladi:

$$\vec{F}_{21} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{a}_{12} \quad (1.3)$$

$\vec{F}_{12}$ va $\vec{F}_{21}$ – kuchlarning moduli bir-biriga tengdir: $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$. (1.4)

Ikkita zaryadlar orasidagi o'zaro ta'sir kuchi, ular yaqiniga boshqa zaryadlar yaqinlashtirilsa, o'zgarmaydi. Agar q_a – zaryad atrofida $q_1, q_2, \dots, q_n$ zaryadlar to'plami bo'lsa, natijaviy kuch quyidagiga teng bo'ladi:

$$\vec{F} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i \quad (1.5)$$

Kulon qonunida k – proporsionallik koeffitsientining son qiymatini xohlagancha tanlab, unga istalgan birlikni berish mumkin, ammo amalda eng qulay bo'lgan birliklar tizimi ishlatiladi.

XBS da 1 Kulon zaryad birligi 1 s vaqt ichida 1 A tok o'tishi uchun zarur bo'lgan zaryad miqdoriga tengdir: $q = 1 \text{ A} \cdot 1 \text{ s} = 1 \text{ K}$

Bu holda, $K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ ga tengdir.

Zaryadlar ta'sir etuvchi muhit vakuum bo'lmasa, u muhit ϵ –dielektrik singdiruvchanlikka ega bo'ladi, u holda, *Kulon qonuni quyidagicha yoziladi:*

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

Elektr maydoni. Maydon kuchlanganligi. Qo'zg'almas zaryadlar orasidagi o'zaro ta'sir elektr maydoni orqali sodir bo'ladi. Nima uchun qo'zg'almas zaryadlarning o'zaro ta'siri deyishimizga katta sabab bor.

Efirda elektromagnit maydon borligiga oldinroq e'tibor bergan edik. Magnit maydoni asosan harakatdagi zaryadlarga ta'sir etadi. Aksincha, harakatdagi zaryad magnit maydonini hosil qiladi. Shu sababli, zaryadlarning elektr maydonini o'rganishda doimo qo'zg'almas zaryadlarni tanlab olamiz. Bu bilan elektromagnit maydonini xuddi ikkiga ajratib, faqat elektr maydonidagi hodisalarni o'rganamiz, deb tasavvur etamiz.



Har qanday zaryad o'zi egallagan fazoda elektr maydoni hosil qilishi bilan, fazoga o'zgartirish kiritadi. Hosil bo'lgan elektr maydoni, shu maydonning istalgan nuqtasiga kiritilgan zaryadga, ma'lum bir kuch bilan ta'sir qiladi. Bu maydon birligini bilish uchun shu fazoga – maydonga sinov zaryadini kiritamiz.

Elektr maydoniga kiritilgan sinov zaryadiga ta'sir etuvchi kuch. Agar q – zaryad maydoniga q_s – sinov zaryadini kiritsak va uni qo'zg'almas deb hisoblasak, q_s – zaryadga

$$\vec{F} = \left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \vec{a}_r \right) \cdot q_s$$

kuch ta'sir etadi.

Bu yerda, $((\vec{a}_r))$ – birlik vektor. Demak, bu kuch q_s – sinov va elektr maydonini hosil qiluvchi q – zaryadlar miqdoriga bog'liqdir.

Agar q – zaryad maydoni atrofidagi fazoga q_1^1 , q_2^2 har xil sinov zaryadlar

kiritsak, ta'sir etuvchi kuchlar F^1, F^2 bo'ladi va $\frac{F^1}{q_1^1}$ nisbat doimo o'zgarmas

$\left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \vec{a}_r \right)$ qiymatga teng bo'ladi, ya'ni bu nisbat q zaryad hosil qilgan maydonni xarakterlaydi. Bu nisbat zaryad hosil qilgan elektr maydonining kuchlanganligi deb

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_s} \quad (1.7)$$

ataladi:

Bu maydon kuchlanganligi asosan, $\vec{F}$ – kuch va sinov zaryad turgan masofa bilan belgilanadi:

$$\vec{E} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \cdot \vec{a}_r \quad (1.8)$$

XBSda 1 C zaryadga 1 m masofada 1 N kuch ta'sir etishini bildiradi va Kulon

$$\text{bilan o'lchanadi. } E = \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} = 9 \cdot 10^9 \frac{V}{m} \quad (1.9)$$

Agar $\vec{F} = q\vec{E}$ bo'lsa, musbat zaryadga ta'sir etuvchi kuch yo'nalishi $\vec{E}$ vektor bilan mos tushadi, manfiy zaryadga ta'sir etuvchi kuch esa $\vec{E}$ maydon yo'nalishiga teskari bo'ladi.

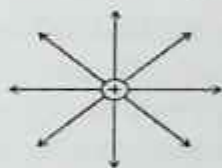
Agar qarayotgan nuqta, sirt yoki hajmda N ta zaryadlar to'plami bo'lsa, ular hosil qilgan maydon kuchlanganligi alohida zaryadlar elektr maydon kuchlanganligining vektor yig'indisiga teng bo'ladi:

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^N \vec{E}_i \quad (1.10)$$

Ana shu (1.10) ifoda elektr maydonlarining superpozitsiya printsipli yoki qo'shilish printsipli deb ataladi.

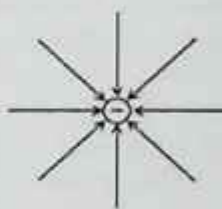
Zaryadning fazodagi elektr maydoni ko'rinishini tasvirlash uchun elektr maydon kuchlanganligi chiziqlaridan foydalanamiz.

Agar elektr maydon kuch chiziqlari egri chiziqdan iborat bo'lsa, kuchlanganlik chiziqlari har bir nuqtaga o'tkazilgan urinmadan iborat bo'ladi. Chiziqlar zichligi elektr maydon kuchlanganligining shu nuqtadagi kattaligini bildiradi. Nuqtaviy zaryad maydon kuchlanganligi chiziqlari radial chiziqlardan iboratdir.



Musbat

zaryad uchun kuch chiziqlari yo'nalishi zaryaddan chiqqan bo'ladi. Manfiy zaryad uchun esa, kuch chiziqlari yo'nalishi zaryadga yo'nalgan bo'ladi. Kuch chiziqlari bir musbat zaryaddan chiqib ikkinchi manfiy zaryadda tugaydi.



Elektr maydonida zaryadni ko'chirishda bajarilgan ish.

Har qanday maydon va shu maydondagi kuchning tabiati bajarilgan ishning ko'rinishi bilan aniqlanadi. Jumladan, bajarilgan ish yo'lning traektoriyasiga bog'liq bo'lish yoki bo'lmasligi, kuch va maydon tabiatining mezoni bo'lib xizmat qiladi.

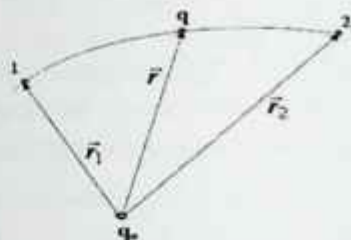
Misol uchun, qo'zg'almas nuqtaviy zaryad q_0 vakuumda
$$\vec{E} = \frac{q_0}{4\pi\epsilon_0 r^3} \cdot \vec{r} \quad (1.11)$$

elektr maydonini hosil qilgan, deb hisoblaymiz. Shu maydonda boshqa nuqtaviy q zaryad harakat qilayotgan va 1-nuqtadan 2-nuqtaga ko'chgan bo'lsin.

Elektr maydoni kuchi ta'sirida bajarilgan ish quyidagi integral bilan ifodalanadi:

$$A_{12} = \int_{12} q \vec{E} d\vec{r} = q \frac{q_0}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \int_{12} \frac{\vec{r} d\vec{r}}{r^3}, \quad (1.12)$$

$$A_{12} = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right). \quad (1.13)$$



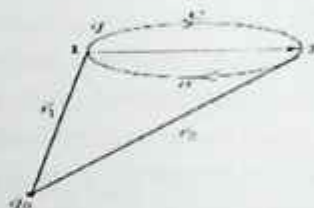
Qo'zg'almas nuqtaviy q_0 zaryad maydonida q sinov zaryadning harakat traektoriyasi (rasmga qarang).

Bu ifodadan ko'rinadiki, bir xil ishorali q va q_0 zaryadlarning o'zaro itarish kuchi ta'sirida, zaryadlar uzoqlashishida musbat ish bajariladi.

Aksincha, har xil ishorali zaryadlarning tortishish kuchi ta'sirida q va q_0 zaryadlar yaqinlashib, manfiy ish bajariladi.

Yana misol tariqasida q zaryadni a va c yo'nalishda 1 - nuqtadan 2 - nuqtaga ko'chiramiz. Bu holda ham bir xil ish bajariladi: $A_{12} = A_{1a2} = A_{1c2}$

Shunday qilib, elektrostatik maydon kuchining bajargan ishi yo'lning traektoriyasiga bog'liq bo'lmagani uchun elektrostatik maydon kuchi potentsial (konservativ) kuch hisoblanadi.



Agarda n - ta nuqtaviy zaryadlar ($q_1, q_2, \dots, q_n$) hosil qilgan maydonda q - nuqtaviy zaryad harakat qilsa, unga $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n$ kuchlar ta'sir qiladi. Bu natijalovchi F kuchning bajargan ishi - A har bir kuch mustaqil bajargan ishlarning algebratik yig'indisiga teng bo'ladi:

$$A = \sum_{i=1}^n \frac{q_i q}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_{i1}} - \frac{1}{r_{i2}} \right). \quad (1.14)$$

Yopiq kontur bo'yicha q - zaryadni ko'chirishda bajarilgan ish quyidagicha

$$A_0 = q \oint_L \vec{E} d\vec{l} \quad (1.15)$$

ifodalanadi

Yopiq konturda, maydonning boshlang'ich va oxirgi nuqtalari ustma-ust tushgani uchun bajarilgan ish nolga teng bo'ladi.

$$A_0 = \oint_L dA = \frac{qq}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) = 0 \quad (1.16)$$

Ya'ni,

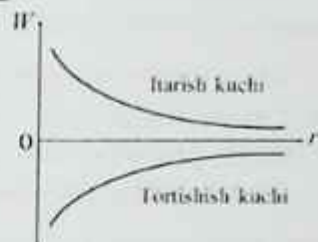
$$\oint_L \vec{E} d\vec{l} = 0. \quad (1.17)$$

Shuning uchun ham maydon kuchlanganligi vektorining yopiq kontur bo'yicha sirkulyatsiyasi nolga teng bo'lgan maydon potentsial maydon deb ataladi.

Maydon potentsiali. Zaryadning potentsial energiyasi. Agar qo'zg'almas nuqtaviy q_0 - zaryadning maydonida q - zaryad 1(r_1) - nuqtadan 2(r_2) - nuqtaga ko'chirilsa, uning energiyasi o'zgarib boradi. Bu ish elektrostatik potentsial maydonda bajarilgani uchun q - zaryadning potentsial energiyasi o'zgaradi:

$$A_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{q_0 q}{r_1} - \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{q_0 q}{r_2} = W_1 - W_2 \quad (1.18)$$

Zaryadlarning ishorasiga qarab, ular orasidagi o'zaro ta'sir kuchi tortishish va itarish kuchlaridan iborat bo'ladi. Ammo zaryadlar orasidagi F - radius-vektor ortishi bilan, o'zaro ta'sir kuchi ishorasiga qaramasdan, potentsial energiya kamayib boradi.



1.4-rasm. Zaryadlarning ishorasiga qarab, ular orasidagi o'zaro ta'sir kuchi

Demak, potentsial maydonda bajarilgan ish q - zaryadning potentsial energiyasining kamayishi hisobiga bajariladi: $dA = -dW$.

O'zaro ta'sir tortishish va itarish kuchlarining zaryadlar orasidagi masofaga bog'liqligi 1.4-rasmda ko'rsatilgan.

Elektrostatik maydonning biror nuqtasidagi zaryadning potentsial energiyasini umumiy holda quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$W = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{q q_0}{r} \quad (1.19)$$

Bu ifodadan elektrostatik maydondagi q zaryadning potentsial energiyasi maydonni hosil qilgan qo'zg'almas q_0 zaryadga ham bog'liq bo'lgani uchun zaryadlarning o'zaro potentsial energiyasi ham deyiladi. Shunday qilib, ikki zaryadning o'zaro potentsial energiyasi zaryadlar ko'paytmasiga to'g'ri va ular oralaridagi masofaga teskari proporsionaldir. Q zaryadning W - potentsial energiyasi, elektrostatik maydondagi uning holatiga bog'liq bo'lgani uchun, elektrostatik maydonning nuqtalari energetik nuqtai nazardan potentsial deb ataluvchi skalyar kattalik bilan ifodalanadi.

Elektrostatik maydon biror nuqtasining potentsiali deb, maydonning shu nuqtasiga kiritilgan bir birlik musbat sinov zaryadga mos kelgan potentsial energiyaga miqdor jihatdan teng bo'lgan fizik kattalikka aytiladi: $\varphi = \frac{W}{q} = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{q_0}{r}$. (1.20)

Shunday qilib, nuqtaviy zaryad hosil qilgan elektrostatik maydonning biror nuqtasidagi potentsiali zaryad miqdoriga to'g'ri va nuqtagacha bo'lgan masofaga teskari proporsionaldir.

Elektrostatik maydon potentsiali, uning energetik tavsifi bo'lgani uchun elektrostatik maydon kuchining zaryadni ko'chirishda bajargan ishi, maydon

potentsiallari ayirmasi bilan o'zaro bog'lanishga ega bo'lishi kerak:
 $A_{12} = q(\varphi_1 - \varphi_2)$. (1.21)

Maydonning ikki nuqtasi orasidagi potentsiallar ayirmasi quyidagiga tengdir:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{12}}{q}$$

Elektrostatik maydonning ikki nuqtasi orasidagi potentsiallar farqi deb, bir birlik musbat zaryadni 1-nuqtadan 2 - nuqtaga ko'chirishda bajarilgan ishga miqdor jihatdan teng bo'lgan fizik kattalikka aytiladi.

Agar bajarilgan ish quyidagicha $dA = qEdr = -dW = -q d\varphi$ (1.22)

bo'lsa, elektr maydon kuchlanganligi potentsial bilan quyidagicha ifodalanadi:

$$E = -\frac{d\varphi}{dr} \quad (1.23)$$

Shunday qilib, elektrostatik maydonning kuchlanganligi deb kuch chizig'ining uzunlik birligiga mos kelgan potentsial ayirmasiga miqdor jihatdan teng bo'lgan fizik kattalikka aytiladi.

Elektrostatik maydonning kuchlanganligini boshqacha ko'rinishda yozish mumkin: $E = -grad\varphi$ yoki $\varphi_1 - \varphi_2 = \int_1^2 E dr$ (1.24)

Potentsiallari bir xil bo'lgan nuqtalarning geometrik o'rniga ekvipotentsial sirtlar deyiladi.

Ekipotentsial sirt uchun: $\varphi = const$

ELEKTRODINAMIKA ASOSLARI. ELEKTROSTATIKA

Asosiy tushunchalar va formulalar

Elektr zaryadining saqlanish qonuni :

$$q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_N = const$$

bu yerda, $q_1, q_2, q_3, \dots, q_N$ -yopiq sistemadagi barcha jismlarning zaryadlari.

Kulon qonuni-oralaridagi masofa r bo'lgan ikkita q_1 va q_2 qo'zg'almas nuqtaviy zaryadlarning o'zaro ta'sir kuchi:

$$F = k \frac{|q_1 \cdot q_2|}{\epsilon \cdot r^2}, \quad (1.25)$$

bu yerda, k -birliklar sistemasiga bog'liq bo'lgan proporsionallik koeffitsiyenti bo'lib,

HBS sistemasi uchun $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8,9876 \cdot 10^9 \text{ m/F} \approx 9 \cdot 10^9 \text{ m/F}$, $\epsilon_0 = 8,8542 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$ -elektr

doimiysi, ϵ -zaryadlar joylashgan muhitning dielektrik singdiruvchanligi; vakuum uchun $\epsilon = 1$.

Elektr maydon kuchlanganligi:

$$\text{a) } \vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}, \left(\frac{N}{C} = \frac{V}{m} \right), \quad (1.26)$$

bu yerda, $\vec{F}$ -elektr maydon tomonidan q zaryadga ta'sir etuvchi kuch.

q nuqtaviy zaryadning elektr maydon kuchlanganligi (zaryaddan r masofadagi nuqtada):

$$E = k \frac{|q|}{\epsilon \cdot r^2}. \quad (1.27)$$

Tekis zaryadlangan sfera va sharning elektr maydon kuchlanganligi ham sferadan tashqaridagi nuqtalarda shu ifoda bilan aniqlanadi. Bu holda r -sfera yoki sharning markazidan berilgan nuqtagacha bo'lgan masofa. Sfera ichida esa $E = 0$;

σ sirt zichlik bilan tekis zaryadlangan cheksiz tekislikning elektr maydon kuchlanganligi (ixtiyoriy nuqtada):

$$E = \frac{|\sigma|}{2\epsilon \cdot \epsilon_0}. \quad (1.28)$$

Ishoralari har xil va zaryad zichliklari bir xil bo'lgan ikkita cheksiz parallel tekisliklar orasidagi maydon kuchlanganligi

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon \epsilon_0}. \quad (1.29)$$

Bu yerda, $\sigma = \frac{\Delta q}{S}$ - zaryadning sirt zichligi.

sirti bo'ylab λ chiziqli zichlik bilan tekis zaryadlangan cheksiz uzun silindrning elektr maydoni (silindrdan tashqaridagi silindr o'qidan r masofadagi nuqtalarda), xususan, cheksiz uzun to'g'ri ipniki:

$$E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0\epsilon \cdot r}, \quad (1.30)$$

bu yerda, $\lambda = \frac{\Delta q}{r}$ - zaryadning chiziqli zichligi.

Silindr ichidagi nuqtalarda $E = 0$.

Bir necha zaryadning birgalikda hosil qilgan elektr maydon kuchlanganligi (superpozitsiya prinsipi):

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_N, \quad (1.31)$$

bu erda, $\vec{E}_1, \vec{E}_2, \dots, \vec{E}_N$ - mos ravishda 1, 2, ..., N-zaryadlar elektr maydonining berilgan nuqtadagi kuchlanganliklari. Xususan ikkita zaryad holida

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 \cos \alpha}, \quad (1.32)$$

bu yerda, α - $\vec{E}_1$ va $\vec{E}_2$ vektorlar orasidagi burchak.

q zaryadning kuchlanganligi $\vec{E}$ bo'lgan bir jinsli elektr maydonda $\Delta \vec{r}$ masofaga ko'chirishda bajarilgan ishi:

$$A = q \vec{E} \Delta \vec{r} = qE\Delta r \cos \alpha, \quad (1.33)$$

bu yerda, α - $\Delta \vec{r}$ vektor bilan $\vec{E}$ orasidagi burchak.

Elektr maydon potentsiali:

$$\varphi = \frac{W_p}{q}; \quad \varphi = \frac{A_\infty}{q}, \quad (1.34)$$

bu yerda, W_p - q zaryadning elektr maydondagi potentsial energiyasi, A_∞ - q zaryadni potentsiali aniqlayotgan nuqtadan cheksizlikka ko'chirishda elektr maydonning bajargan ishi,

q nuqtaviy zaryadning elektr maydon potentsiali (zaryaddan r masofadagi nuqtada):

$$\varphi = k \frac{q}{\varepsilon \cdot r} \quad (1.35)$$

Tekis zaryadlangan sfera va sharning tashqarisidagi nuqtalardagi elektr maydon potentsiali ham shu ifoda bilan aniqlanadi. Bu yerda, r -sfera yoki sharning markazidan berilgan nuqtagacha bo'lgan masofa. Sferaning ichidagi potentsial uning sirtidagi potentsialga teng.

Elektr maydonda joylashgan q zaryadning potentsial energiyasi:

$$W_p = q\varphi.$$

q zaryadni 1-nuqtadan 2-nuqtaga ko'chirishda elektr maydonning bajargan ishi:

$$A = W_{p1} - W_{p2} = q(\varphi_1 - \varphi_2) = qU, \quad (1.36)$$

bu yerda, $U = \varphi_1 - \varphi_2$ - potentsiallar farqi (kuchlanish).

Elektrostatik maydon kuchlanganligi bilan potentsiallar farqi orasidagi bog'lanish:

$$E_l = -\frac{\Delta\varphi}{\Delta l} = -\frac{d\varphi}{dl}, \quad (1.37)$$

bu yerda, Δl -bir-biriga yaqin joylashgan ikki nuqta orasidagi masofa, $\Delta\varphi =$

$\varphi_1 - \varphi_2$ -shu nuqtalardagi potentsiallar farqi, $E_l - \vec{E}$ ning 1-nuqtadan 2-nuqta yo'nalishiga proyeksiyasi. Bir jinsli maydon uchun

$$E = \frac{U}{l} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{l}; \quad U = E_l l. \quad (1.38)$$

Bir necha zaryadning birgalikda hosil qilgan elektr maydoni potentsiali:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_N, \quad (1.39)$$

bu yerda, $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_N$ -mos ravishda 1-, 2-, ..., N-zaryadlar elektr maydonining berilgan nuqtadagi potentsiallari.

Ikkita q_1 va q_2 zaryadlarning o'zaro ta'sir potentsial energiyasi:

$$W_p = k \frac{q_1 q_2}{\varepsilon \cdot r}. \quad (1.40)$$

Yakkalangan o'tkazgichning zaryadi q , potentsiali φ va elektr sig'imi C orasidagi bog'lanish:

$$C = \frac{q}{\varphi}; \varphi = \frac{q}{C}; q = C\varphi. \quad (1.41)$$

q zaryadli yakkalangan o'tkazgichning potentsial energiyasi:

$$W_p = \frac{q\varphi}{2} = \frac{q^2}{2C} = \frac{C\varphi^2}{2}. \quad (1.42)$$

R radiusli yakkalangan sharning elektr sig'imi:

$$C = 4\pi\epsilon\epsilon_0 R, \quad (1.43)$$

bu yerda, ϵ -shar joylashgan muhitning dielektrik singdiruvchanligi.

Kondensatorning zaryadi q, kuchlanishi $U = \varphi_1 - \varphi_2$ va elektr sig'imi C orasidagi bog'lanish:

$$C = \frac{q}{U}; U = \frac{q}{C}; q = CU. \quad (1.44)$$

Zaryadlangan kondensatorning potentsial energiyasi:

$$W_p = \frac{qU}{2} = \frac{q^2}{2C} = \frac{CU^2}{2}. \quad (1.45)$$

Yassi kondensatorning sig'imi:

$$C = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d}, \quad (1.46)$$

bu yerda, S-kondensatorning qoplamalaridan birining yuzasi, d-qoplamalar orasidagi masofa, ϵ -qoplamalar orasini to'ldirgan dielektrikning singdiruvchanligi.

Sferik kondensatorning sig'imi:

$$C = 4\pi\epsilon_0 q \frac{R_1 \cdot R_2}{R_2 - R_1}, \quad (1.47)$$

bu yerda, R_1 va R_2 - ichki va tashqi qoplamalarning radiuslari.

Silindrik kondensatorning sig'imi:

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon \cdot l}{\ln \frac{R_2}{R_1}}. \quad (1.48)$$

bu yerda, R_1 va R_2 - qoplamalarning radiuslari, l- qoplamalarning uzunligi.

O'zaro parallel ulangan kondensatorlar batareyasining sig'imi:

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_N. \quad (1.49)$$

O'zaro ketma-ket ulangan kondensatorlar batareyasining sig'imi:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_N}. \quad (1.50)$$

Elektr maydon energiyasining zichligi:

$$\omega = \frac{W}{V} = \frac{\epsilon \epsilon_0 E^2}{2}. \quad (1.51)$$

Nazorat savollari

Kulon qonunini tushuntiring.

Elektr maydonini tushuntiring.

Kuch chiziqlari nimani anglatadi?

Superpozitsiya prinsipini tushuntiring.

Gauss qonunini tushuntiring.

Bobga doir masalalar yechish namunalari

1. Tomonlari 10 sm bo'lgan muntazam uchburchakning ikki uchida -4 nC va $+4\text{ nC}$ bo'lgan ikki zaryad joylashgan. Uchburchakning uchinchi uchidagi maydon kuchlanganligi nimaga teng?

Javobi: $3,6\text{ kV/m}$

Berilgan	Formula	Hisoblash
$a = 10\text{ sm} = 10 \cdot 10^{-2}\text{ m}$ $q_1 = -4\text{ nC} = -4 \cdot 10^{-9}\text{ C}$ $q_2 = 4\text{ nC} = 4 \cdot 10^{-9}\text{ C}$ $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$ $E_n = ?$	Maydon kuchlanganligi vektorlarning $\Rightarrow \alpha$ burchakda ($\alpha = 120^\circ$) $E_n = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1 E_2 \cos \alpha}$ $E_1 = E_2 = E \text{ bo'lgani uchun}$ $E_n = \sqrt{E^2 + E^2 + 2E E \cos 120^\circ} =$ $= \sqrt{E^2 + E^2 + 2E E \left(-\frac{1}{2}\right)} =$ $= \sqrt{E^2} = E = k \frac{q}{a^2}$	$E_n = 9 \cdot 10^9 \frac{4 \cdot 10^{-9}}{(10^{-1})^2} = 3600 \frac{\text{V}}{\text{m}} =$ $= 3,6 \frac{\text{kV}}{\text{m}}$

2. Dielektrik muhit ichida bir biridan 6 sm masofada zaryadi 6 nC va -8 pC bo'lgan ikki zaryad joylashgan. Ular o'rtasidagi maydon kuchlanganligi qanday ? (Javobi: 140kV/m),

№2	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$r = 6\text{sm} = 6 \cdot 10^{-2}\text{m}$ $q_1 = 6\text{nC} = 6 \cdot 10^{-9}\text{C}$ $q_2 = -8\text{nC} = -8 \cdot 10^{-9}\text{C}$ $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$ $E_s = ?$	Maydon kuchlanganligi vektorlarning natijaviysi $E_s = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 \cos \alpha}$ Maydon kuchlanganligi vektorlarning yo'nalishi bir xil ($\alpha=0^\circ$) $E_s = E_1 + E_2 = k \left(\frac{q_1}{r^2} + \frac{q_2}{r^2} \right) =$ $= \frac{4k}{r^2} (q_1 + q_2)$	$E_s = \frac{4 \cdot 9 \cdot 10^9}{(6 \cdot 10^{-2})^2} \cdot (6 + 8) \cdot 10^{-9} =$ $= \frac{36 \cdot 14}{36 \cdot 10^{-4}} = 140000 \frac{\text{V}}{\text{m}} = 140 \frac{\text{kV}}{\text{m}}$

3. Qanday nuqtaviy zaryad potentsiallar farqi 100V bo'lgan ikki nuqta orasida ko'chirilganda maydon 5μJ ish bajaradi? (Javobi: 50nC)

№3	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$\Delta\varphi = 100\text{V}$ $A = 5\mu\text{J} = 5 \cdot 10^{-6}\text{J}$ $q = ?$	Maydon ishi potentsiallar farqi orqali quyidagicha ifodalanadi $A = q\Delta\varphi$ Bundan $q = \frac{A}{\Delta\varphi}$	$q = \frac{5 \cdot 10^{-6}}{100} = 5 \cdot 10^{-8}\text{C} =$ $= 50 \cdot 10^{-9}\text{C} = 50\text{nC}$

4. Elektrostatik maydonning biror nuqtasidagi 50nC zaryad 7,5 μJ potensial energiyaga ega. Shu nuqtadagi maydon potensialini toping (Javobi: 150V)

№4	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$q = 50\text{nC} = 50 \cdot 10^{-9}\text{C}$ $W = 7,5\mu\text{J} = 7,5 \cdot 10^{-6}\text{J}$ $\varphi = ?$	Potensial. Maydonning biror nuqtasiga kiritilgan q, zaryadga ega bo'lgan potensial energiyasini shu zaryad miqdoriga nisbatiga teng bo'lgan kattalikka shu nuqtaning potentsiali deyiladi va φ harfi bilan belgilanadi $\varphi = \frac{W}{q}$	$\varphi = \frac{W}{q} = \frac{7,5 \cdot 10^{-6}}{50 \cdot 10^{-9}}$ $= \frac{7500}{50} = 150\text{V}$

5. Ikkita $+0,4\mu\text{C}$ va $-0,6\mu\text{C}$ nuqtaviy zaryadlar bir biridan 12 sm masofada joylashgan. Zaryadlarni tutashtiruvchi kesma o'rtasida elektr maydon potentsiali qanday?

№5	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$r = 12\text{sm} = 12 \cdot 10^{-2}\text{ m}$ $q_1 = 0,4\mu\text{C} = 0,4 \cdot 10^{-6}\text{ C}$ $q_2 = -0,6\mu\text{C} = -0,6 \cdot 10^{-6}\text{ C}$ $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$ $\varphi_n = ?$	Maydon elektr maydon potentsiali natijaviysi $\varphi_n = \varphi_1 + \varphi_2$ $\varphi_n = k \left(\frac{q_1}{r/2} - \frac{q_2}{r/2} \right) = \frac{2k}{r} (q_1 - q_2)$	$\varphi_n = \frac{2 \cdot 9 \cdot 10^9}{12 \cdot 10^{-2}} \cdot (0,4 - 0,6) \cdot 10^{-6} =$ $= \frac{-18 \cdot 10^5 \cdot 0,2}{12} = -30000\text{V} =$ $= 30\text{kV}$

6. Zaryadi $3 \cdot 10^{-8}\text{ C}$ ga teng bo'lgan ikki nuqtaviy zaryad havoda bir-biridan 50 sm masofada turibdi. Ularni 20 sm gacha yaqinlashtirish uchun qanday ish bajarilishi kerak? (Javobi: $10,8\mu\text{J}$)

№6	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$r_1 = 50\text{sm} = 50 \cdot 10^{-2}\text{ m}$ $q_1 = 3 \cdot 10^{-8}\text{ C}$ $q_2 = 3 \cdot 10^{-8}\text{ C}$ $r_2 = 20\text{sm} = 20 \cdot 10^{-2}\text{ m}$ $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$ $A = ?$	Elektr maydoning bajargan ishi hisobiga zaryadlarning potensial energiyasi kamayadi. $A = W_1 - W_2 = -\Delta W$ Agar maydonga qarshi ish bajarilsa $A < 0 \Rightarrow A = \Delta W$ $A = k \frac{q_2 \cdot q_1}{r_1} - k \frac{q_2 \cdot q_1}{r_2}$ $= k \cdot q_2 \cdot q_1 \left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right)$	$A = 9 \cdot 10^9 \cdot 3 \cdot 10^{-8} \cdot 3 \cdot 10^{-8} \left(\frac{1}{0,2} - \frac{1}{0,5} \right) =$ $= 810 \cdot 10^{-8} \cdot 3 = 2430 \cdot 10^{-8}\text{ C} =$ $= 24,3\mu\text{C}$

7. Agar zaryadlangan ikkita parallel plastinkalar orasidagi masofa 12sm va potentsiallar ayirmasi 180V bo'lsa, plastinkalar orasidagi maydon kuchlanganligini aniqlang.

№7	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$d = 12 \text{ sm} = 12 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ $U = 180 \text{ V}$ ----- $E = ?$	Potensiallar farqi bilan kuchlanganlik orasidagi munosabat $U = Ed$ Bundan $E = \frac{U}{d}$;	$E = \frac{180}{0,12} = \frac{18000}{12} = 1500 \frac{\text{V}}{\text{m}}$

8. Kuchlanganligi 6000 V/m bo'lgan bir jinsli elektr maydonda bitta kuchlanganlik chizig'ida olingan, orasidagi masofa 2 sm bo'lgan ikki nuqta orasidagi potensiallar farqi qanday bo'ladi?

№8	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$d = 2 \text{ sm} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ $E = 6000 \frac{\text{V}}{\text{m}}$ ----- $U = ?$	Potensiallar farqi bilan kuchlanganlik orasidagi munosabat $U = Ed$	$U = 6000 \cdot 0,2 = 120 \text{ V}$

9. Yassi kondensator qoplamalari orasidagi kuchlanish 150V, zaryadi 80 μC bo'lsa, kondensatordagi maydon energiyasi nimaga teng?

№9	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$q = 80 \mu\text{C} = 80 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ $U = 150 \text{ V}$ ----- $W = ?$	Yassi kondensatorning energiyasi $W = \frac{qU}{2}$	$W = \frac{80 \cdot 10^{-6} \cdot 150}{2} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ J} =$ $= 6 \text{ mJ}$

10. Yassi kondensator 2 μC zaryad olib, 0,5 μJ energiyaga ega bo'ldi. Kondensator sig'imi qanday bo'lgan?

№10	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$q = 2 \mu\text{C} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ $W = 0,5 \mu\text{J} = 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ J}$ ----- $C = ?$	Yassi kondensatorning Energiyasi $W = \frac{q^2}{2C}$ Bundan $C = \frac{q^2}{2W}$	$C = \frac{(2 \cdot 10^{-6})^2}{2 \cdot 0,5 \cdot 10^{-6}} = \frac{4 \cdot 10^{-12}}{1 \cdot 10^{-6}} =$ $= 4 \mu\text{F}$

11. Yassi kondensatorga $4 \cdot 10^{-5} \text{ C}$ zaryad berilganda, uning energiyasi 20 mJ ga teng bo'ladi. Kondensator qoplamalari orasidagi kuchlanish qanday bo'lgan?

Berilgan	Formula	Hisoblash
$q = 4 \cdot 10^{-5} \text{ C}$ $W = 20 \text{ mJ} = 20 \cdot 10^{-3} \text{ J}$ ----- $U = ?$	Yassi kondensatorning Energiyasi $W = \frac{qU}{2}$ Bundan $U = \frac{2W}{q}$	$U = \frac{2 \cdot 20 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 10^{-5}} = \frac{4000}{4} = 1000 \text{ V}$

12. Dielektrik singdiruvchanligi 4 va kuchlanganligi $3 \cdot 10^3 \text{ V/m}$ bo'lgan nuqtadagi elektr maydonning energiya zichligini toping. (Javobi: $159 \mu\text{J/m}^3$)

Berilgan	Formula	Hisoblash
$\epsilon = 4$ $E = 3 \cdot 10^3 \frac{\text{V}}{\text{m}}$ $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Kl}^2}{\text{N} \cdot \text{m}^2}$ ----- $\omega = ?$	Elektr maydon energiya zichligi $-\omega$ $\omega = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2}$	$\omega = \frac{8.85 \cdot 10^{-12} \cdot 4 \cdot (3 \cdot 10^3)^2}{2} =$ $= 159 \cdot 10^{-6} = 159 \mu\text{J/m}^3$

Mustaqil shug'ullanish uchun savol va masalalar

Elektr maydoni. Elektr zaryadining saqlanish qonuni. Kulon qonuni.

1.1. Moy tomchisi $-3,2 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ elektr zaryadga ega. Tomchidagi ortiqcha elektronlarni aniqlang.

1.2. Elektrlangan jismda 3 ta elektron yetishmaydi. Jismdagi zaryadning kattaligini va ishorasini aniqlang.

1.3. Nima maqsadda benzin tashuvchi mashinalarga yerga tegib turadigan qilib zanjir osilgan bo'ladi?

1.4. Agar ikkita nuqtaviy zaryadning har birini va ular orasidagi masofani ikki marta kamaytirilsa, ular orasidagi o'zaro ta'sir kuchi o'zgaradimi?

1.5. Elektr zaryadlari $3,2 \cdot 10^{-19}$ va $-3,2 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ bo'lgan ikkita birday o'tkazuvchi sharcha bir-biriga tekkizildi. Sharcha zaryadlari qanday bo'ladi? Birinchi sharchadan ikkinchisiga qancha elektron o'tadi?

1.6. Bir-biridan qanday masofada 1 mK va 10 nC zaryadlar 9 mN kuch bilan o'zaro ta'sirlashadi?

1.7. Agar vakuumda joylashgan ikkita 12 nC li nuqtaviy elektr zaryadlar orasidagi masofa 3 sm bo'lsa, ular qanday kuch bilan o'zaro ta'sirlashadi? Agar zaryadlar suvda joylashgan bo'lsa, o'zaro ta'sir kuchi necha marta kamayadi?

1.8. Ikkita bir xil nuqtaviy elektr zaryad glitserinda biri ikkinchisidan 9 sm masofada joylashib, $1,3 \cdot 10^{-5} \text{ N}$ kuch bilan o'zaro ta'sirlashadi. Har bir zaryadning kattaligini aniqlang.

1.9 Ikkita nuqtaviy zaryadlar orasidagi masofa 5 sm ga kamaytirilganda ularning o'zaro ta'sir kuchi 4 marta ortdi. Zaryadlar orasidagi boshlang'ich masofa necha sm bo'lgan?

1.10. Vakuumda har birining zaryadi 1 C dan bo'lgan ikkita zaryad bir-biridan 1 m masofada qanday kuch bilan o'zaro ta'sirlashadi? Kerosinda-chi?

1.11. Vakuumda har birining zaryadi 1 C bo'lgan jismlar qanday masofada 1 N kuch bilan o'zaro ta'sirlashadi?

1.12. Radiusi $5,0 \cdot 10^{-11} \text{ m}$ orbita bo'ylab harakatlanayotgan elektron geliy atomining yadrosiga qanday kuch bilan tortiladi? Yadroning zaryadi $3,2 \cdot 10^{-19} \text{ C}$. Orbitani aylanadan iborat deb hisoblang.

1.13. Vakuumda ikkita $5,0 \cdot 10^{-9}$ va $1,5 \cdot 10^{-8} \text{ C}$ nuqtaviy zaryadlar biri ikkinchisidan $4,0 \text{ sm}$ masofada turibdi. Bu zaryadlarni tutashtiruvchi chiziqlarning o'rtasida joylashgan uchinchi $1,0 \cdot 10^{-9} \text{ C}$ zaryadga shu zaryadlar qanday kuch bilan ta'sir etishini aniqlang.

1.14. 10 va 16 nC zaryadlar bir-biridan 7 mm masofada joylashgan. Kichik zaryaddan 3 mm va katta zaryaddan 4 mm masofada bo'lgan nuqtaga joylashtirilgan 2 nC zaryadga qancha kuch ta'sir qiladi?

1.15. 90 va 10 nC zaryadlar bir-biridan 4 sm masofada joylashgan. Uchinchi zaryad muvozanatda turishi uchun uni qayerga joylashtirish mumkin?

1.16. Radiusi 5 sm bo'lgan metal sharchaga $1,57 \cdot 10^{-8} \text{ C}$ zaryad berildi. Sharcha sirtidagi zaryad zichligi qanday bo'ladi?

1.17. O'tkazuvchi sharcha sirtidagi zaryad zichligi $5 \cdot 10^{-5} \text{ C/m}^2$. Agar sharchaning radiusi 8 sm bo'lsa, zaryad kattaligini aniqlang.

1.18. Dielektrik muhitda bir-biridan 1 sm masofada turgan 6 va 0,8 mK nuqtaviy zaryadlar o'zaro 16 N kuch bilan ta'sirlashadilar. Muhitning dielektrik singdiruvchanligini toping.

1.19. Vakuumda bir-biridan 0,60 sm masofada joylashgan ikkita elektr zaryadining biri boshqasidan ikki marta kichik va ular o'zaro 2,0 mN kuch bilan o'zaro ta'sirlashadi. Shu zaryadlarni aniqlang. Kerosinda zaryadlar orasidagi masofa qanday bo'lganda o'zaro ta'sir kuchi o'zgarmaydi?

1.20. Ikkita elektronning elektr itarishish kuchi ularning gravitatsion tortishish kuchidan necha marta katta?

Elektr maydon kuchlanganligi.

1.21. $0,7 \cdot 10^{-6}$ C elektr zaryad joylashgan nuqtada 5 mN kuch bilan ta'sir qiladigan elektr maydon kuchlanganligini aniqlang.

1.22. Kuchlanganligi 500 V/m bo'lgan nuqtada joylashgan $3,2 \cdot 10^{-8}$ C zaryadga elektr maydon qancha kuch bilan ta'sir qiladi?

1.23. Chaqmoq chaqnashdan oldin Yer sirti yaqinidagi elektr maydon kuchlanganligi $2 \cdot 10^5$ V/m ga teng edi. Bu maydonda elektronga qanday kuch ta'sir qiladi?

1.24. Vakuumda $7,5 \cdot 10^{-8}$ C nuqtaviy zaryad elektr maydonni hosil qilgan. Zaryaddan 15 sm masofada turgan nuqtalarning maydon kuchlanganligini aniqlang. Bu nuqtalarning geometrik o'rni nimani beradi?

1.25. 2,2 nC nuqtaviy elektr zaryad hosil qilgan maydonning kuchlanganligi zaryaddan 6,0 sm masofada 2,5 kV/m. Muhitning dielektrik singdiruvchanligini aniqlang.

1.26. Kerosin solingan idishda o'lchamlarini hisobga olmasa ham bo'ladigan darajada kichik $8,0 \cdot 10^{-8}$ C zaryadga ega bo'lgan o'tkazuvchi sharcha joylashgan. Zaryaddan 5,0 sm masofadagi elektr maydon kuchlanganligini aniqlang. Agar kerosinni to'kib tashlansa, ana shu nuqtadagi kuchlanganlik qanday o'zgaradi?

1.27. Zaryaddan 5,0 sm masofada joylashgan nuqtada elektr maydon kuchlanganligi $1,5 \cdot 10^5$ V/m ga teng. Zaryaddan 10,0 sm masofadagi nuqtada maydon kuchlanganligi qanday bo'ladi? Shu zaryadning kattaligini aniqlang.

1.28. Agar $1,5 \cdot 10^5$ V/m kuchlanganlikka ega bo'lgan elektr maydonga chang zarrasiga $2,4 \cdot 10^{-16}$ N kuch ta'sir qilsa, unda qancha ortiqcha elektron bor?

1.29. Nuqtaviy zaryad elektr maydoni hosil qiladi. Kuchlanganlik moduli bir xil bo'lgan nuqtaning geometrik o'rni nimanı beradi?

1.30. Agar bir jinsli elektr maydonga o'tkazuvchi sharcha kiritilsa, u asil holicha qoladimi?

1.31. Vakuumba bir-biridan 20 sm masofada joylashgan ikkita bir xil ishorali $1,0 \cdot 10^{-8}$ C va $2,0 \cdot 10^{-8}$ C nuqtaviy elektr zaryadlar elektr maydon hosil qilgan. Ikki zaryadni tutashtiruvchi chiziq o'rtasida ikki zaryaddan bir xil masofada joylashgan nuqtadagi elektr maydon kuchlanganligini aniqlang. Agar zaryadlar turli ishorali bo'lsa, kuchlanganlik qanday bo'ladi?

1.32. Diametrlari 10,0 va 4,0 sm bo'lgan ikkita o'tkazuvchi sharcha bir-biridan 120,0 sm masofada turibdi va mos ravishda $3,0 \cdot 10^{-6}$ va $2,0 \cdot 10^{-6}$ C zaryadga ega. Shu sharchalarni tutashtiruvchi to'g'ri chiziqlarning o'rtasida joylashgan O nuqtadagi elektr maydon kuchlanganligini aniqlang. (1.1-rasm)



1.1-rasm

1.33. Radiusi 3 sm bo'lgan metall sharga 16 nC zaryad berildi. Zaryadning sirt zichligini va shar markazidan 2 sm va 4 sm naridagi nuqtada maydon kuchlanganligini toping.

1.34. Zaryadlangan shar sirtining zichligi σ . E maydonning shar sirtidan tashqarida uning diametriga teng bo'lgan masofada yotgan nuqtadagi kuchlanganligini toping.

1.35. Cheksiz uzunlikdagi plastinkada zaryadning sirt zichligi 354 nC/m^2 bo'lsa, shu plastinkaning maydon kuchlanganligini toping.

1.36. Zaryadlangan o'tkazuvchi sharcha sirtidan uning uchlangan radiusi masofada joylashgan nuqtadagi elektr maydon kuchlanganligini aniqlang. Sharcha sirtida zaryad zichligi $1,6 \cdot 10^{-7} \text{ C/m}^2$.

1.37. Kuchlanganligi 49 V/m bo'lgan bir jinsli elektr maydonda $2 \cdot 10^{-8} \text{ C}$ zaryadli tomchi muallaq turibdi. Tomchining massasini aniqlang.

1.38. Yerning elektr maydonida massasi 10 g va zaryadi $1 \cdot 10^{-5} \text{ C}$ bo'lgan sharcha qanday tezlanish bilan tushadi? Yer yaqinida maydon kuchlanganligi 130 V/m ga teng.

Elektr potensial. Elektr potentsiallar farqi. Elektr maydonda bajarilgan ish.

1.39. Elektr maydonining potentsiali 200 V bo'lgan nuqtasida joylashgan zaryadning potensial energiyasi 5 mJ . Shu zaryadning miqdorini aniqlang.

1.40. Elektr maydonning 2 kV potentsialiga ega bo'lgan nuqtasida joylashgan 10^{-5} C zaryadning potensial energiyasi nimaga teng?

1.41. Agar Yerning elektr maydon kuchlanganligi Yer sirti yaqinida 130 V/m bo'lsa, uning elektr zaryadi va potentsialini aniqlang. Yerning radiusi 6400 km deb oling.

1.42. Biror nuqtaviy zaryaddan 20 sm masofadagi nuqtada potensial 120 V ga teng bo'lsa, 30 sm masofadagi nuqtada potensial nimaga teng bo'ladi?

1.43. $2 \cdot 10^{-8} \text{ C}$ zaryadni cheksizlikdan maydonning berilgan nuqtasiga ko'chirishda $1,13 \cdot 10^{-4} \text{ J}$ ish bajarildi. Maydonda berilgan nuqtaning elektr potentsialini toping.

1.44. Agar ikki nuqta orasida $8 \cdot 10^{-7} \text{ C}$ zaryadni ko'chirishda $3 \cdot 10^{-5} \text{ J}$ ish bajarilgan bo'lsa, ular orasidagi elektr potentsiallari farqini toping.

1.45. Elektr maydon potentsiallari 200 va 1200 V bo'lgan nuqtalar orasida $3 \cdot 10^{-7} \text{ C}$ musbat zaryadni ko'chirdi. Bunda maydon qancha ish bajargan?

1.46. $4 \cdot 10^{-8} \text{ C}$ nuqtaviy zaryad elektr maydoni hosil qiladi. Zaryaddan 6 sm masofadagi nuqtada elektr potentsiali qanday bo'ladi? Cheksizlikdan shu nuqtaga 2 C musbat zaryad o'tkazish uchun maydon kuchlariga qarshi qancha ish bajarish zarur?

1.47. $1 \cdot 10^{-5}$ va $6 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ nuqtaviy zaryadlar havoda biri ikkinchisidan 20 sm masofada turibdi. Zaryadlarni tutashtiruvchi to'g'ri chiziqlarning o'rtasida joylashgan nuqtadagi elektr maydon potentsialini aniqlang.

1.48. Kuchlanganligi $5 \cdot 10^3 \text{ V/m}$ bo'lgan bir jinsli elektr maydonda $1,6 \cdot 10^{-7} \text{ C}$ elektr zaryad kuch chizig'i bo'ylab 3 sm ga ko'chdi. Zaryad ko'chgan ikki nuqtaning potentsiallari farqini va bajarilgan ishni aniqlang.

1.49. Elektron elektr maydonda potentsiali 10 kV bo'lgan nuqtadan potentsiali 5 kV bo'lgan nuqtaga ko'chdi. Agar elektronning boshlang'ich kinetik energiyasi 10^{-15} J bo'lsa, keyingi kinetik energiyasi nimaga teng bo'ladi?

1.50. Kuchlanganligi 60 kV/m bo'lgan bir jinsli maydonda 5 nC zaryad ko'chirildi. Ko'chish vektori modul bo'yicha 20 sm ga teng bo'lib, kuch chizig'i yo'nalishi bilan 60° burchak tashkil etadi. Maydon bajargan ishni, zaryadning va maydonning o'zaro ta'sir potentsial energiyasining o'zgarishini, ko'chishning boshlang'ich va oxirgi nuqtalari orasidagi kuchlanishni toping.

1.51. Elektron tezlatuvchi maydonda potentsiali 200 V bo'lgan nuqtadan potentsiali 300 V bo'lgan nuqtaga ko'chdi. Elektronning kinetik energiyasini, maydon bilan o'zaro kinetik energiyasining o'zgarishini va elektron olgan tezlikni toping. Elektronning boshlang'ich tezligi nolga teng deb hisoblang.

1.52. Elektron elektr maydonining ikki nuqtasi oralig'ini o'tib uning tezligi $2,9 \cdot 10^6$ dan $3 \cdot 10^7$ m/s gacha ortdi. Bu nuqtalar o'rtasidagi elektr potentsiallari farqi qanday bo'ladi? Elektronning kinetik energiyasi qanchaga ortadi?

1.53. Ioffe tajribasida turli ishorali zaryadlangan parallel plastinkalar orasidagi bir jinsli elektr maydondagi chang zarrachasining massasi $10 \cdot 10^{-8}$ g. Plastinkalar orasidagi potentsiallar farqi 500 V, masofa esa 10 sm. Agar chang zarrachasi elektr maydonida muallaq holatda bo'lsa, uning zaryadi topilsin.

1.54. Har biri 25 V gacha zaryadlangan 64 ta bir xil sharsimon simob tomchilarining qo'shilishidan hosil bo'lgan katta simob tomchisining potentsiali topilsin.

1.55. Elektron $1,6 \cdot 10^6$ m/s tezlik bilan kuchlanganligi 90 V/m bo'lgan bir jinsli elektr maydonga uchib kiradi va unda kuch chiziqlari bo'ylab to'la to'xtaguncha uchadi. Elektron qanday yo'lni uchib o'tadi va buning uchun qancha vaqt kerak bo'ladi? Elektronning massasini $9 \cdot 10^{-31}$ kg deb hisoblang.

1.56. Bir jinsli maydon kuchlanganligining bitta chizig'ida yotgan ikki nuqta orasidagi kuchlanganlik 2 kV ga teng. Nuqtalar orasidagi masofa 10 sm. Maydon kuchlanganligini toping.

Elektr sig'im. Kondensatorlar. Elektr maydon energiyasi.

1.57. Zaryadlangan o'tkazgichning zaryadini o'zgartirmay turib, potensialini o'zgartirish mumkinmi?

1.58. Agar kondensator 1,4 kV kuchlanishgacha zaryadlanganda u 28 nC zaryad olsa, shu kondensator sig'imi qancha?

1.59. Sig'imi C bo'lgan yassi havo kondensatori dielektrik singdiruvchanligi 2 ga teng bo'lgan muhitga tushirildi. Kondensatorning sig'imi qanday bo'ladi?

1.60. Sharsimon o'tkazgichning sig'imi uning radiusiga proporsional. O'tkazuvchi sharchaning sig'imi vakuumda 1 F ga tenglashtirish uchun uning radiusi qancha bo'lishi kerak? Shu sharning radiusi Yer radiusidan necha marta katta bo'ladi?

1.61. Radiusi 5 sm bo'lgan o'tkazuvchi sharcha kerosinda joylashgan. Shu sharchaning sig'imini hisoblang.

1.62. Yerning radiusi 6400 km bo'lgan sharcha shakliga ega deb faraz qilib, uning elektr sig'imini aniqlang.

1.63. Sig'imi 5 pF bo'lgan yakkalangan o'tkazuvchi sharcha 1570 V potensialgacha zaryadlangan. Undagi zaryadni, sirt zichligini va sharning radiusini aniqlang.

1.64. Agar yassi kondensator har plastinkasining yuzi 15 sm^2 , dielektrik esa qalinligi 0,8 mm slyudadan iborat bo'lsa, uning sig'imini hisoblang.

1.65. Yassi havo kondensatori har birining yuzi 100 sm^2 dan bo'lgan ikki plastinkadan tashkil topgan. Plastinkalardan biriga $6 \cdot 10^{-9} \text{ C}$ zaryad berilsa, kondensator 120 V gacha zaryadlanadi. Kondensator plastinkalari orsidagi masofani toping.

1.66. Yassi havo kondensatori har bir plastinkasining yuzi $62,3 \text{ sm}^2$ dan, ular orasidagi masofa esa 5 mm. Agar kondensator plastinkalarida elektr potentsiallar farqi 60 V bo'lsa, uning zaryadini aniqlang.

1.67. Yassi havo kondensatorlari plastinkalari orasidagi masofa 0,1 sm ga teng. Har bir plastinkaning yuzi 200 sm^2 va ulardagi potentsiallar farqi 600 V. Kondensatorda qancha zaryad to'plangan? Agar plastinkalar orasidagi bo'shliqni dielektrik

singdiruvchanligi 6 ga teng bo'lgan slyuda bilan to'ldirilsa, elektr potentsiallari qanday o'zgaradi?

1.68. Yassi havo kondensatori plastinkalari orasidagi masofa 1,5 mm va u 150 V kuchlanishgacha zaryadlangan. Kuchlanish 600 V gacha ortishi uchun plastinkalarni qancha masofaga uzoqlashtirish kerak bo'ladi?

1.69. Qalinligi 0,12 mm va yuzi $12,56 \text{ sm}^2$ bo'lgan 9 ta slyuda plastinkasi bo'lgan kondansator sig'imini aniqlang.

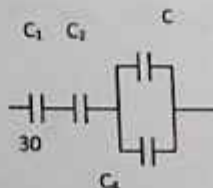
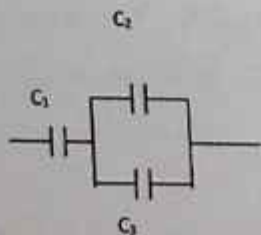
1.70. Yassi kondensator qoplamalarining orasi birday 0,5 mm qalinlikdagi shisha, slyuda va parafinlangan qog'ozdan iborat dielektriklar bilan to'ldirilgan. Agar kondensator qoplamalarining yuzi 200 sm^2 bo'lsa, kondensatorning elektr sig'imi topilsin.

1.71. Har bir qoplamining yuzi 600 sm^2 dan bo'lgan yassi qog'ozli kondensator energiyasini aniqlang. Kondensatorning zaryadi $2 \cdot 10^{-7} \text{ C}$, qalinligi 2 mm bo'lgan parafin shimdirilgan qog'oz dielektrik bo'lib xizmat qiladi.

1.72. Sig'implari 4, 2 va 6 mkF bo'lgan uchta kondensator batareya qilib ulangan va 200 V li o'zgarmas kuchlanish manbaiga ulangan: 1) kondensatorlar ketma-ket ulangan hol uchun; 2) kondensatorlar parallel ulangan hol uchun batareyaning energiyasini va sig'imini toping.

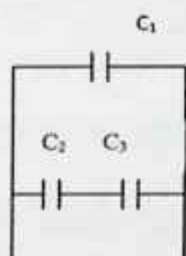
1.73. 1.2-rasmda ko'rsatilgan zanjir bo'yicha ulangan kondensatorlar batareyasining sig'imini aniqlang, bunda: $C_1=1,2 \text{ mkF}$, $C_2=C_3=0,6 \text{ mkF}$.

1.74. 1.3-rasmda ko'rsatilgandek qilib ulangan kondensatorlar batareyasining elektr sig'imini aniqlang. Barcha kondensatorlarning sig'imini 0,6 mkF dan deb oling. Agar batareyada kuchlanish 100 V bo'lsa, unda to'plangan elektr zaryad miqdorini toping.

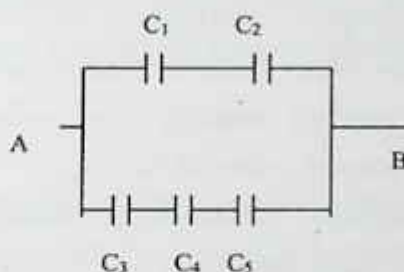


1.3-rasm

1.75. Kondensatorlar 1.5-rasmda ko'rsatilgandek ulangan. Berilgan: $C_1=C_2=2$ mkF, $C_3=C_4=C_5=6$ mkF. Agar batareyadagi energiya zapasi $1,35 \cdot 10^{-1}$ J ga teng bo'lsa, A va B nuqtalardagi elektr potentsiallari farqini aniqlang.



1.4-rasm



1.5-rasm

1.76. Noma'lum sig'imli 600 V gacha zaryadlangan kondensatorni sig'imi 5 mkF bo'lgan zaryadlanmagan kondensatorga parallel ulangan keyin batareyada kuchlanish 100 V gacha tushib ketdi? Kondensatorning sig'imi qanday bo'ladi?

1.77. Fotosuratga olishda impulsli yoritish 300 V kuchlanishgacha zaryadlangan 800 mkF sig'imli kondensatorning 2,8 ms vaqt davomida razryadlanishi bilan amalga oshadi. Lampaning impulsli chaqnash energiyasini va o'rtacha quvvatini aniqlang.

1.78. Uchta kondensator 1.4-rasmda ko'rsatilganidek batareya qilib ulangan va 200 V li o'zgarmas kuchlanish manbaiga ulangan. Agar batareyaning umumiy sig'imi $C=6$ mkF bo'lsa, C_1 kondensator sig'imini va undagi zaryadni aniqlang.

1.79. 90 V kuchlanishgacha zaryadlangan slyudali kondensator bir jinsli elektr maydoni energiyasining hajmiy zichligini aniqlang. Plastinalar orasidagi masofa 1,0 mm; slyudaning dielektrik singdiruvchanligi 6 ga teng.

1.80. Dielektrik singdiruvchanligi 2 ga teng bo'lgan muhitdagi kuchlanganligi 10^6 V/m bo'lgan elektr maydon energiyasining zichligini aniqlang.

2- §. Elektr maydon kuchlanganlik vektorining oqimi

Reja:

1. Elektrostatik maydon kuchlanganlik vektorining sirkulyatsiyasi.
2. Elektrostatik maydon potentsiali.
3. Elektr dipoli va uning maydoni.

Mavzular mazmuni: Elektrostatik maydon kuchlanganlik vektorining sirkulyatsiyasi. Elektrostatik maydon potentsiali. Nuqtaviy zaryad va zaryad tizimi maydonlarining potentsiali. Elektrostatik maydon kuchlanganligi bilan potentsiali orasidagi bog'lanish. Elektr dipoli va uning maydoni.

Tayanch iboralar: maydon, kuchlanganlik vektorining sirkulyatsiyasi, maydonlarining potentsiali, elektr dipoli.

Elektr induksiya vektori kuch chiziqlari va oqimi. Elektr maydon kuchlanganligi va kuch chiziqlarida musbat nuqtaviy zaryadning kuch chiziqlari zaryad markazidan tashqariga yo'nalgan radial chiziqlardan iborat, manfiy nuqtaviy zaryad kuch chiziqlari markazga yo'nalgan radial chiziqlardan iboratdir. Ammo, bu kuch chiziqlari qaergacha davom etadi?

Vakuumda kuch chiziqlari uzluksizdir. Dielektrlarda bo'linish chegarasigacha davom etadi, ya'ni cheklangan bo'ladi.

Shunday qilib, bir jinsli bo'lgan dielektrlarda kuch chiziqlarining uzluksizlik sharti bajarilmaydi. Shuning uchun ham, ixtiyoriy ko'rinishdagi dielektrlar ichidagi maydonni tavsiflash uchun uning bo'linish chegarasidan uzluksiz o'tadigan yangi $\vec{D}$ vektor kattalik kiritiladi.

Bu vektor kattalik *elektr induksiya vektori* deb ataladi.

Elektr induksiya vektori chiziqlari ixtiyoriy muhitda uzluksiz bo'lishi uchun, $\vec{E}$ kuchlanganlik vektori bilan quyidagi munosabatda bog'langan bo'lishi shart.

Maydon kuchlanganligi:
$$E = \frac{F}{q} \quad (2.1)$$

Maydon potentsiali:
$$\varphi = \frac{W}{q} \quad (2.2)$$

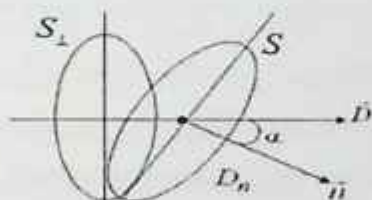
Elektr maydonda birlik zaryadga ta'sir qiluvchi kuch. Elektr potensial energiya bu birlik zaryad miqdoriga teng energiya va ko'pincha V harfi bilan

$$\text{belgilaymiz } \vec{D} = \epsilon\epsilon_0 \vec{E}, \text{ ya'ni } \vec{D} = \frac{\epsilon\epsilon_0}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{q}{r^3} \vec{r} = \frac{1}{4\pi} \frac{q}{r^3} \vec{r}, \quad (2.3)$$

bu yerda, $\epsilon\epsilon_0$ – vakuum bilan dielektrikning elektr singdiruvchanliklaridan qutilganimiz uchun, elektr induksiya vektori $\vec{D}$ ning uzluksizligi ta'minlanadi. Shu sababli, elektr kuch chiziqlari bir muhitdan ikkinchi muhitga o'tishda uzluksizligi ta'minlanganligi uchun quyidagi ifodani ko'pinchalik *elektr ko'chishi* deb ataladi.

$$\text{Skalyar ko'rinishda } D = \frac{1}{4\pi} \frac{q}{r^2}, \quad (2.4)$$

ga ega bo'lamiz. Shunday qilib, ixtiyoriy muhitda nuqtaviy zaryad hosil qilgan maydonning biror nuqtasidagi induksiya shu zaryadga to'g'ri proporsional, masofa kvadratiga teskari proporsionaldir. Elektr induksiya vektori $\vec{D}$ miqdor jihatdan bir birlik yuzadan tik ravishda o'tayotgan induksiya chiziqlarini, ya'ni uning sirt zichligini ifodalaydi (2.1-rasm).



2.1 - rasm. Elektr induksiya vektori

Bir jinsli elektr maydonidagi ixtiyoriy S yuza orqali tik ravishda o'tayotgan induksiya chiziqlari *induksiya oqimlari* deb ataladi.

$$N = D_n S = DS_{\perp} = DS \cos \alpha, \quad (2.5)$$

Agar elektr maydoni bir jinsli bo'lmasa $\vec{D} \neq const$ u holda, dS elementar yuza sohasidagi maydonni bir jinsli deb hisoblash mumkin. U vaqtda quyidagi differensial lko'rinishga ega bo'lamiz:

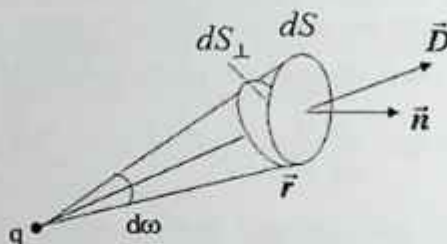
$$dN = D_n dS = D dS \cdot \cos \alpha, \quad (2.6)$$

Ixtiyoriy S sirtidan o'tuvchi elektr induksiya oqimi N cheksiz ko'p shunday elementar elektr induksiya oqimlari dN ning yig'indisi bilan ifodalanadi:

$$N = \int_S D_n dS = \int_S D dS_{\perp} \quad (2.7)$$

Ostrogradskiy – Gauss teoremasi

Faraz qilaylik, q zaryad ixtiyoriy yopiq S sirt ichida joylashgan bo'lsin (2.2 - rasm).



2.2- rasm. Yopiq sirtning fazoviy burchagiga to'g'ri keluvchi elektr induksiya vektori

$$\text{Elektr induksiya vektorining ifodasiga ko'ra: } \vec{D} = \frac{1}{4\pi} \frac{q}{r^3} \vec{r} \quad (2.8)$$

bu yerda, $\vec{D}$ – vektor zaryad joylashgan nuqtadan chiqqan bo'lib, $\vec{r}$ – radius - vektor bo'ylab yo'naladi. Shuning uchun $\vec{n}$ normal bilan $\vec{D}$ vektor orasidagi fazoviy burchak dS va $dS_{\perp}$ sirlari orasidagi burchakka tengdir. U vaqtda elementar dS sirtidan chiqayotgan elektr induksiya oqimi quyidagiga teng bo'ladi:

$$dN = \frac{1}{4\pi} \frac{q}{r^2} \cdot dS_{\perp} \quad (2.9)$$

bu yerda, $\frac{dS_{\perp}}{r^2} = d\omega$ – elementar fazoviy burchakka teng bo'lgani uchun

$$dN = \frac{1}{4\pi} q \cdot d\omega \quad (2.10)$$

ga ega bo'lamiz.

Agar butun shar sirti bo'yicha integrallasak $N = \oint_S \frac{q}{4\pi} d\omega = \frac{q}{4\pi} \times 4\pi = q$

(2.11) bo'ladi. *Ostrogradskiy – Gauss teoremasining matematik ifodasiga* ega bo'lamiz. Yopiq sirtidan chiqayotgan elektr induksiya oqimi shu sirt ichidagi zaryad miqdoriga teng.

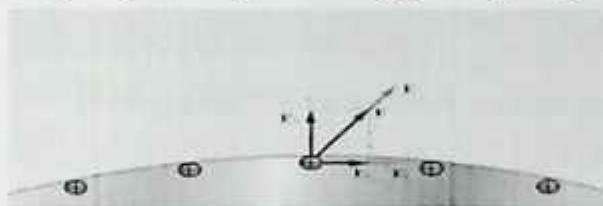
Yopiq sirt ichida $q_1, q_2, \dots, q_n$ (2.12)

zaryadlar bo'lsa, elektr induksiya vektori quyidagiga teng bo'ladi:

$$\vec{D} = \vec{D}_1 + \vec{D}_2 + \dots + \vec{D}_n = \sum_{i=1}^n \vec{D}_i. \quad (2.13)$$

Elektr induksiya oqimi esa, $N = \sum_{i=1}^n q_i$, (2.14)

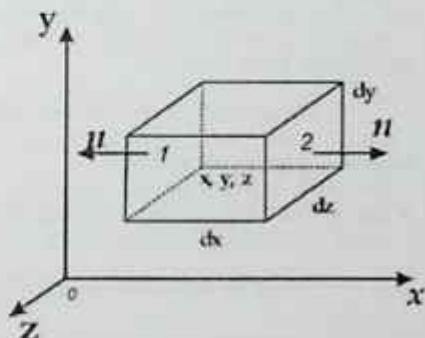
ya'ni yopiq sirt ichidagi zaryadlarning arifmetik yig'indisiga teng bo'ladi.



2.3-rasm. Yopiq sirt ichidagi zaryadlarning arifmetik yig'indisi

Bu komponentaning qatnashishida yuza bo'ylab yo'nalgan zaryaddagi kuch komponentasi ham taqdim etiladi va bu zaryadni tezlashtiradi.

Haqiqatda, kuch chiziqlarining oqimi sirt radiusiga bog'liq emas, bu oqim ikkita sirt orasidagi fazoda, zaryadlar yo'q bo'shliqda uzluksizdir. Shu sababli, zaryadni o'rab olgan ixtiyoriy sirtidan o'tadigan elektr induksiya oqimi (2.11) ifoda bilan aniqlanadi va u *Ostrogradskiy – Gauss teoremasining integral ko'rinishi* deb hisoblanadi. Quyida bu teoremaning



2.4 – rasmda ρ hajmiy zaryad zichligi bilan zaryadlangan dV elementar hajm keltirilgan.

differensial ko'rinishini keltirib chiqaramiz.

dV hajm elementi zaryadi $dq = \rho dV$ ga teng. Boshqa tarafdin, ρ fazoviy koordinatalarning uzluksiz funktsiyasi hisoblanadi.

Elementar dV hajmning 1 – tomonidan chiqqan tashqi normal x o'qining manfiy yo'nalishiga mos keladi. Shu sababli, shu sirt bo'yicha vektor oqimi $-e_x(x)dydz$ ga teng bo'ladi. Parallelipipedning 2 – sirtidan chiqqan tashqi normal x o'qining musbat yo'nalishiga mos keladi va shu sirt bo'yicha oqim $+e_x(x+dx)dydz$ ga teng bo'ladi. Ikkala oqim yig'indisi

$$[E_x(x+dx) - E_x(x)dydz] = \frac{\partial E_x}{\partial x} dx dy dz = \frac{\partial E_x}{\partial x} dV, \quad (2.15)$$

ga teng bo'ladi.

$$\text{Parallelipipedning butun sirti bo'yicha to'la oqim } dN = \text{div} E dV, \quad (2.16)$$

$$\text{ga teng bo'ladi, bu yerda, } \text{div} E = \frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial E_y}{\partial y} + \frac{\partial E_z}{\partial z}. \quad (2.17)$$

Ostrogradskiy – Gauss teoremasiga asosan, shu oqim

$$dN = q = \rho dV \quad (2.18)$$

ga tengdir. yuqoridagi ifodalarni taqqoslasak quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\text{div} E = \rho. \quad (2.19)$$

Bu ifoda Ostrogradskiy – Gauss teoremasining differensial ko'rinishidir. *Elektr maydonining divergensiyasi elektr oqimining fazoviy koordinatalar yo'nalishlari bo'yicha gradientlar yig'indisiga yoki zaryadlangan hajmning hajmiy zaryad zichligiga teng bo'ladi.*

Ostrogradskiy – Gauss teoremasini amalda tadbiq etish uchun, quyidagi tushunchalarni kiritamiz:

- Zaryadlarning hajmiy zichligi deb, jismning bir birlik hajmiga mos kelgan zaryadga

$$\text{miqdor jihatdan teng bo'lgan fizik kattalikka aytiladi: } \rho = \frac{q}{V}, \quad (2.20)$$

bu yerda, q – jismning V – hajmiga mos kelgan zaryad miqdori.

- Zaryadning sirt zichligi deb, jismning bir birlik sirt yuzasiga mos kelgan zaryadga

$$\text{miqdor jihatdan teng fizik kattalikka aytiladi, ya'ni } \sigma = \frac{q}{S}, \quad (2.21)$$

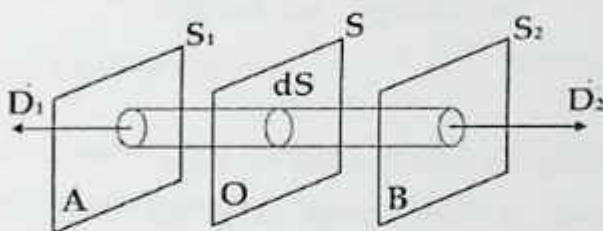
bu yerda, q – jismning S yuzasiga mos kelgan zaryad miqdori.

• Zaryadning chiziqli zichligi deb, jismning uzunlik birligiga mos kelgan zaryadga

miqdor jihatdan teng fizik kattalikka aytiladi, ya'ni $\tau = \frac{q}{\ell}$ (2.22)

bu yerda, q – jismning ℓ uzunligiga mos kelgan zaryad miqdori va quyidagi misollarni ko'rib chiqamiz.

1-misol. Bir tekis zaryadlangan cheksiz tekislik maydoni. Faraz qilaylik, bir tekis zaryadlangan cheksiz tekislik $-s$ σ – sirt zichligiga ega bo'lsin (2.5rasm).



2.5-rasm. Bir tekis zaryadlangan cheksiz tekislik

Induksiya chiziqlari tekislikka perpendikulyar bo'lgan va tashqariga yo'nalgan $\vec{D}_1$ va $\vec{D}_2$ vektorlardan iborat bo'ladi. Bu chiziqlar S tekislikda boshlanib ikkala tomonga cheksiz davom etadi. Yopiq sirt sifatida har ikkala tomonidan dS asoslari bilan chegaralangan to'g'ri silindr ajratib olamiz. S_1 va S_2 sirt asoslari A va B tekisliklarda joylashgan. Silindr ichidagi zaryad $q dS$ dan iborat.

Silindr yasovchilari induksiya chiziqlariga parallel bo'lgani uchun, silindrning yon sirtidan chiquvchi elektr induksiya oqimi nolga teng. Zaryadlangan tekislik maydonining A va B tekisliklardagi induksiya vektori D_1 va D_2 miqdor jihatdan o'zaro teng va qarama-qarshi yo'nalgan bo'ladi: $\vec{D}_1 = -\vec{D}_2$

Silindrning asoslaridan chiqayotgan induksiya oqimlari quyidagiga teng:

$$N_1 = D_1 dS_1, \quad N_2 = D_2 dS_2 \quad (2.23)$$

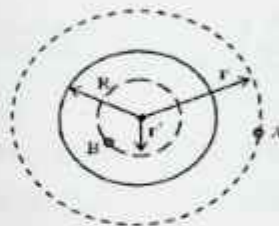
$$\text{Umumiy oqim esa, } N = D_1 S_1 + D_2 S_2 = DS + DS = 2DS \quad (2.24)$$

Ostrogradskiy – Gauss teoremasiga asosan yopiq sirtidan chiqayotgan *elektr induksiya oqimi* N , shu yopiq sirt ichidagi zaryad $q = \sigma S$ ga tengdir: $N = \oint_S D dS = q = \sigma S$,

$$\sigma S = 2DS \text{ dan}$$

$$D = \frac{\sigma}{2}. \quad (2.25)$$

2-misol. Bir tekis hajmiy zaryadlangan sharning maydoni. Radiusi R bo'lgan, hajm bo'yicha zaryadlangan sharning zaryad hajmiy zichligi $\rho > 0$ bo'lsin (2.5 - rasm).



2.5-rasm. Bir tekis hajmiy zaryadlangan shar maydoni

Zaryadlangan sharning tashqi

($r > R$) va ichki

($r < R$) qismlaridagi maydonni hisoblab ko'ramiz.

A nuqtani olamiz. Sharning zaryadi uning hajmiy zaryad zichligi bilan quyidagicha bog'langan

$$q = \rho V = \rho \cdot \frac{4}{3} \pi R^3. \quad (2.26)$$

Maydon induksiyasi va maydon kuchlanganligi quyidagiga teng bo'ladi

$$D = \frac{1}{4\pi r^2} q; \quad D = \frac{1}{4\pi r^2} \cdot \frac{4}{3} \pi R^3 = \frac{\rho R^3}{3 r^2}, \quad (2.27)$$

$$E = \frac{D}{\epsilon \epsilon_0} = \frac{1}{4\pi \epsilon_0 \epsilon} \cdot \frac{q}{r^2}; \quad E = \frac{D}{\epsilon \epsilon_0} = \frac{\rho}{3\epsilon \epsilon_0} \cdot \frac{R^3}{r^2}. \quad (2.28)$$

B nuqtaga nisbatan maydon induksiyasi va kuchlanganligi quyidagiga teng bo'ladi. Ichki sfera zaryadi q' ga teng bo'lsa,

$$q' = \rho \cdot V' = \rho \cdot \frac{4}{3} \pi r^3, \quad (2.29)$$

$$\rho = \frac{q}{\frac{4}{3} \pi R^3} \quad (2.30)$$

$$q' = \frac{4}{3} \pi r'^3 \cdot \frac{q}{\frac{4}{3} \pi R^3} = q \left(\frac{r'}{R} \right)^3. \quad (2.31)$$

Demak, $S' = 4\pi r'^2$ ichki yopiq sirtidan chiqayotgan elektr induksiya oqimi N' quyidagiga teng bo'ladi:

$$N' = \int_{S'} D' dS = \int_0^{4\pi r'^2} D' dS = D' 4\pi r'^2. \quad (2.32)$$

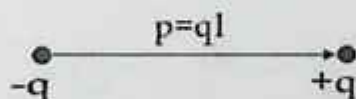
Ikkinchi tomondan, Ostrogradskiy – Gauss teoremasiga asosan, bir tekis hajmiy zaryadlangan sharning ichki yopiq sirtidagi maydon kuchlanganligi

$$N' = \int_{S'} D' dS = q' = \rho \frac{4}{3} \pi r'^3 = q \left(\frac{r'}{R} \right)^3 \quad (2.33)$$

ga teng bo'ladi. Agarda shar sirti bir tekis sirt zaryad zichligi bilan zaryadlangan bo'lsa, u holda $q' = 0$, maydon kuchlanganligi ham $E = 0$ bo'ladi.

ELEKTR DIPOLI

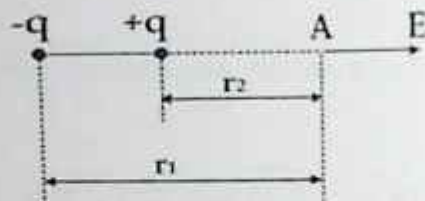
Nuqtaviy zaryadlarning eng sodda tizimlaridan biri elektr dipolidir. Miqdor jihatdan bir – biriga teng, ishoralari bir – biriga qarama-qarshi bo'lgan va bir - biridan ma'lum masofaga siljirilgan $-q_1$ va $+q_2$ zaryadlar majmuasi dipol deb ataladi. ℓ - manfiy zaryaddan musbat zaryadga o'tkazilgan radius – vektor deb hisoblaymiz. U holda $p = q \ell$ dipolning elektr momenti yoki dipolli moment deb ataladi. Agarda, dipoldan kuzatish nuqtasigacha bo'lgan masofaga nisbatan ℓ uzunlik hisobga olmaydigan darajada kichik bo'lsa, dipol nuqtaviy deb ataladi. Kuzatish masofasi katta bo'lganda, u masofani taxminan r deb olish mumkin.



2.6-rasm. Eng sodda nuqtaviy zaryadlar majmuasi

Avval, dipol o'qi davomida yotgan A kuzatish nuqtasida dipolning elektr maydon kuchlanganligini hisoblab ko'ramiz.

$$E = q\left(\frac{1}{r_2^2} - \frac{1}{r_1^2}\right) \approx qd\left(\frac{1}{r^2}\right)(r_2 - r_1) \text{ yoki } \vec{E} = \frac{2q\vec{l}}{r^3} = \frac{2\vec{p}}{r^3} \quad (2.34)$$



2.7-rasm. Nuqtaviy dipolning A nuqtadagi elektr maydoni

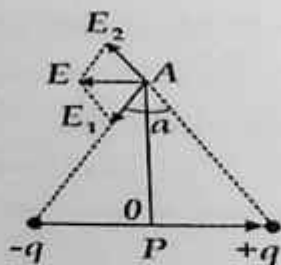
Vektor ko'rinishda dipolning elektr maydonini quyidagicha ifodalaymiz: $\vec{E} = \frac{2\vec{p}}{r^3}$.
(2.35)

Endi, A kuzatish nuqtasi dipol o'qi markaziga o'tkazilgan perpendikulyarda yotgan bo'lsin (2.7-rasm).

$\vec{E}$ vektor $-q$ va $+q$ nuqtaviy zaryadlar hosil qilgan $\vec{E}_1$ va $\vec{E}_2$ maydon kuchlanganliklarining geometrik yig'indisidan iborat bo'ladi. Rasmdan ko'rinishicha, $\vec{E}$ vektor dipol momenti p ga antiparalleldir va uning qiymati

$$E = E_1 a = \frac{ql}{r^3} = \frac{p}{r^3} \quad (2.36)$$

ga teng bo'ladi. Vektor ko'rinishda quyidagicha ifodalanadi: $\vec{E} = \frac{\vec{p}}{r^3}$.



2.8-rasm. Nuqtaviy dipol o'qiga perpendikulyar chiziqda yotgan nuqtadagi elektr maydoni

$l \ll r$ bo'lgan holatlarda AO perpendikulyar dipol o'qi markazida bo'lishi shart bo'lmay qoladi.

Elektr maydoniga joylashgan dipolga ta'sir qiluvchi kuchlarni ko'rib chiqamiz. Agarda elektr maydoni bir jinsli bo'lsa, dipolning manfiy va musbat zaryadlariga ta'sir qiluvchi F_1 va F_2 kuchlar bir biriga teskari yo'nalgan va modullari teng bo'lgani uchun natijaviy kuch F nolga teng bo'ladi. Bu kuchlarning momenti quyidagicha bo'ladi

$$\vec{M} = [\vec{p} \vec{E}]. \quad (2.37)$$

Bu moment dipol o'qini E maydon yo'nalishi bo'yicha burishga harakat qiladi.

Elektr maydoni bir jinsli bo'lmaganda, natijaviy kuch $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$ nolga teng bo'lmaydi. U holda $\vec{F} = q(\vec{E}_2 - \vec{E}_1)$. Bu maydonlar kuchlanganliklari $-q$ va $+q$ zaryadlar joylashgan nuqtalarda bo'lgani uchun, ularni elektr maydonining

differentiali bilan ifodalash mumkin: $dE = l_x \frac{\partial E}{\partial x} + l_y \frac{\partial E}{\partial y} + l_z \frac{\partial E}{\partial z}$, (2.38)

$$\text{Shunga o'xshash } F = p_x \frac{\partial E}{\partial x} + p_y \frac{\partial E}{\partial y} + p_z \frac{\partial E}{\partial z} \quad (2.39)$$

Bu matematik ifodani Gamilton operatori bilan belgilasak,

$$\nabla = \vec{i} \frac{\partial}{\partial x} + \vec{j} \frac{\partial}{\partial y} + \vec{k} \frac{\partial}{\partial z} \quad (2.40)$$

quyidagiga ega bo'lamiz: $\vec{F} = (\vec{p} \nabla) \vec{E}$. $\vec{p}$ vektor x o'qi bo'yicha joylashgan bo'lsa,

$$F_x = p \frac{\partial E}{\partial x} \quad (2.41) \text{ ga ega bo'lamiz.}$$

3-§. Elektrostatik maydondagi dielektriklar va o'tkazgichlar

Reja:

1. Dielektriklarning turlari.
2. Elektrostatik maydondagi o'tkazgich.
3. Elektr sig'imi. Kondensatorlar sig'imi.

Mavzular mazmuni: Dielektriklarning turlari. Dielektriklarning qutblanishi. Elektr siljish vektori. Dielektrik singdiruvchanlik. Muhitdagi elektr maydon uchun Gauss teoremasi. Piezoelektriklar, segnetoelektriklar va ularning texnikada qo'llanilishi. Elektrostatik maydondagi o'tkazgich. Elektr maydonga kiritilgan o'tkazgichdagi zaryadlarning taqsimlanishi. Elektrostatik induksiya qonuni. Elektr sig'imi. Kondensatorlar sig'imi. Elektr zaryadlarining o'zaro ta'sir energiyasi. Zaryadlangan o'tkazgichlar tizimining energiyasi. Zaryadlangan kondensator energiyasi. Elektrostatik maydon energiyasi va uning zichligi.

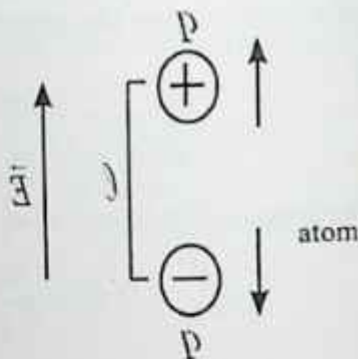
Tayanch iboralar: dielektriklar, qutblanish, singdiruvchanlik, Gauss teoremasi, piezoelektriklar, segnetoelektriklar, elektr sig'imi, kondensatorlar sig'imi, energiya zichligi.

3.1-rasm. Dielektriklarning qutblanishi

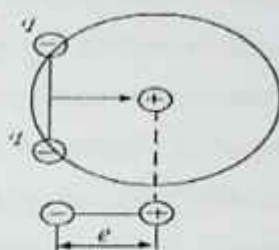
Dielektriklarning qutblanishi. Dielektriklar va molekulalardan tashkil topgan. Atom esa, musbat zaryadli yadro va manfiy zaryadli elektronlardan iboratdir. Atomning musbat zaryadi yadroga to'plangan bo'lib, manfiy ishorali elektronlar esa, yadro atrofida statsionar orbitalar bo'ylab harakatda bo'ladi.

Ko'p hollarda manfiy zaryadlarning markazi musbat zaryadli yadro markazi bilan ustma-ust tushadi.

Birinchi turdagi dielektriklar (H_2 , H_2 , O_2 , CO_2) molekulalaridagi elektronlar yadro atrofida simmetrik joylashib tashqi elektrostatik maydon bo'lmaganda, musbat va manfiy zaryadlarning og'irlik markazlari ustma-ust tushgan bo'ladi. Bunday dielektriklar molekulalari qutbsiz molekulalar deyiladi.



Tashqi elektrostatik maydon $\vec{E}$ ta'sirida qutbsiz molekula zaryadlari siljiy boshlaydi. Musbat zaryadlar maydon yo'nalishda, manfiy zaryadlar maydonga teskari yo'nalishda siljiydi (3.1-rasm). Shunday qilib, molekula



$\vec{P} = q\vec{\ell}$ dipol momentiga ega bo'ladi. Ikkinchi turdagi dielektriklar (H_2O , HH_3 , CO_2 , CO ,.....) molekulalaridagi elektronlar yadro atrofida nosimmetrik joylashgan bo'ladi va tashqi elektrostatik maydon bo'lmaganda ham musbat va manfiy zaryadlarning og'irlik markazlari ustma-ust tushmaydi. Bunday dielektrik molekulalari tashqi maydonsiz ham dipol momentiga ega bo'lib, ular qutbli molekulalar deb ataladi (3.2-rasm). Tashqi elektrostatik maydon bo'lmaganda molekulalarning tartibsiz harakati tufayli dielektrik bo'yicha molekulalarning umumiy dipol momentlari nolga teng bo'ladi. Agar bunday dielektrik tashqi elektrostatik maydonga qo'yilsa, maydon kuchlari dipollarni maydon yo'nalishiga qarab burishga harakat qiladi va noldan farqli umumiy dipol momenti paydo bo'ladi.

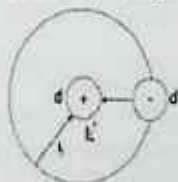
Shunday qilib, tashqi elektrostatik maydon ta'sirida ikkala turdagi dielektrikda ham noldan farqli dipol momentlari hosil bo'ladi. Bu hodisa dielektriklarning qutblanishi deb ataladi.

Demak, qutblanish deb, tashqi elektrostatik maydon ta'sirida dipollarning maydon kuch chiziqlari tomon yo'nalishini o'zgartirish jarayoniga aytiladi.

Quyidagi qutblanish turlari mavjuddir:

1) elektronli qutblanish;

2) orientatsiyaviy yoki dipolli qutblanish. Elektronli qutblanish deb, qutbsiz molekulalardan tashkil topgan dielektrik, tashqi



3.3-rasm. Dielektriklarning qutblanishi

elektrostatik maydonga kiritilganda, atomlar elektron qobiqlarining deformatsiyasi hisobiga induktsiyaviy dipol momentlari hosil bo'lishiga aytiladi.

Orientatsiyaviy yoki dipolli qutblanish deb, qutbli molekulalardan tashkil topgandi elektrik tashqi elektrostatik maydonga kiritilganda, tartibsiz yo'nalgan molekulalar dipol momentlarining maydon yo'nalishiga qarab burilishiga aytiladi.

Ammo, molekulalar issiqlik harakati natijasida faqat ayrim molekulalarning dipol momentlari maydon yo'nalishi bo'yicha joylashadi va u maydon kuchlanganligiga bog'liq bo'ladi.

Molekulalari qutbsiz bo'lgan dielektriklarning eng soddasi vodorod molekulasi atomidir. Tashqi elektrostatik maydon bo'lmaganda $\vec{E} = 0$, vodorod atomidagi bitta elektron yadro atrofida $\vec{r}$ radiusli orbita bo'ylab harakatlanadi (3.3-rasm).

Bu holda elektronning yadroga tortilish kuchi Kulon qonuniga asosan:

$$F_k = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad (3.1)$$

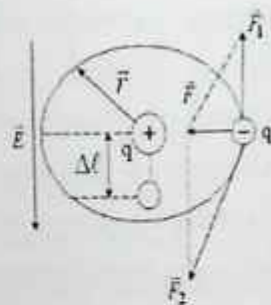
dan iborat bo'ladi, markazga intilma kuch esa

$$\vec{F}_{mi} = m\omega^2 \vec{r} \quad (3.2)$$

ga teng. Elektronning yadroga tortilish kuchi markazga intilma kuch bilan muvozanatda bo'ladi:

$$\frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} = m\omega^2 r \quad (3.3)$$

bu yerda, ω – elektronning orbita bo'ylab harakatining burchak tezligidir.



Kuchlanganligi $\vec{E}$ bo'lgan elektrostatik maydonga

atom kiritilsa, elektron orbitasi deformatsiyalanib, $\vec{E}$ – vektorning yo'nalishiga

qarama-qarshi tomonga Δl – masofaga siljiydi. Bunda $F_{mi} = m\omega^2 r$ markazga

intilma kuch teng ta'sir etuvchi kuch F dan iborat bo'lib, elektrostatik maydonning

elektronga ta'sir kuchi $F_1 = qE$ va elektronning yadroga tortilish kuchi F_2 dan iborat bo'ladi (3.4-rasm).

Rasmdagi burchaklardan $\frac{\Delta \ell}{r} = \frac{F_1}{F}$ ba $\frac{\Delta \ell}{r} = \frac{qE}{m\omega^2 r}$, (3.4)
munosabatlarga ega bo'lamiz.

Demak, induksiyalangan dipolning yelkasi $\Delta \ell$ quyidagiga teng bo'ladi: $\Delta \ell = \frac{qE}{m\omega^2}$,
va shu dipolning elektr momentini quyidagicha ifodalash mumkin:

$$P_\ell = q\Delta \ell = \frac{qE}{m\omega^2} q \quad (3.5)$$

Agar (3.4) – ifodadagi $m\omega^2$ ni (3.5) – ifodaga qo'yilsa, dipolning elektr momentini quyidagi ko'rinishni oladi:

$$m\omega^2 = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 r^3}, \quad P_\ell = \frac{q^2 4\pi\epsilon_0 r^3}{q^2} E \quad \text{yoki} \quad P_\ell = 4\pi\epsilon_0 r^3 E, \quad (3.6)$$

Buni vektor ko'rinishda quyidagicha ifodalash mumkin: $\vec{P}_\ell = 4\pi\epsilon_0 r^3 \vec{E}$,

Agar atomning hajmini $V = \frac{4}{3}\pi r^3$ ga teng deb olsak,

$$P_\ell = 4\pi\epsilon_0 r^3 E = 3V \cdot \epsilon_0 E \quad (3.7) \quad \text{ga ega bo'lamiz.}$$

$\alpha = 3V$ – proporsionallik koeffitsienti bo'lib, unga atomning qutblanuvchanligi
deyiladi. Oxirgi ifoda $\vec{P}_\ell = \alpha\epsilon_0 \cdot \vec{E}$ (3.8) ko'rinishga keladi.

Demak, atomning qutblanuvchanligi uning uchlangan hajmiga
teng bo'lgan fizik kattalikdir.

Endi faraz qilaylik, bir jinsli ($\vec{E} = \text{const}$) tashqi elektrostatik maydonga
dielektrikning qutbli molekulasini joylashtirilgan bo'lsin. Qutbli dipolning elektr
momentining vektori $\vec{P}_\ell$ tashqi maydon kuchlanganligi vektori $\vec{E}$ bilan ma'lum θ
burchak hosil qilsin. Dipolga quyidagi juft kuchlar ta'sir qiladi:

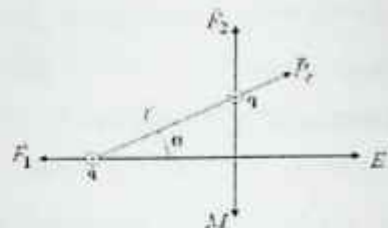
$$\vec{F}_1 = q\vec{E} \quad \text{ba} \quad \vec{F}_2 = q\vec{E}, \quad (3.9)$$

Bu juft kuchlarning moment $\vec{M}$ ning son qiymati quyidagiga teng bo'ladi

$$M = F \cdot \ell \cdot \sin \theta = qE\ell \cdot \sin \theta = P_\ell \cdot E \cdot \sin \theta$$

Vektor ko'rinishda esa $\vec{M} = [\vec{P}_\ell \cdot \vec{E}]$ bilan ifodalanadi.

$\vec{M}$ vektor $\vec{P}_\ell$ va $\vec{E}$ vektorlar yotgan tekislikka perpendikulyar bo'lib, soat milining yo'nalishi bilan mos tushadi.



Juft kuchlar momenti $\vec{M}$, dipolning elektrmomenti $\vec{P}_\ell$ tashqi elektrostatik maydon kuchlanganligining vektori $\vec{E}$ bilan mos tushguncha ta'sir qiladi.

Dipolning elektrostatik maydon bo'ylab burilishi dipolli qutblanish yoki orientatsiyaviy qutblanish deb ataladi.

Agar dipol bir jinsli bo'lmagan ($\vec{E} \neq const$) elektrostatik maydonga kiritilsa, $+q$ zaryad atrofida $\vec{E}_1$, $-q$ zaryad atrofida $\vec{E}_2$ maydon kuchlanganliklari hosil bo'ladi.

Juft kuchlar yig'indisi quyidagiga teng bo'ladi: $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = q(\vec{E}_1 - \vec{E}_2)$ (3.10)

$\vec{E}_1 - \vec{E}_2$ dipolning yelkasi l bo'yicha, o'rtacha maydon kuchlanganligidir, ya'ni

$$\vec{E}_1 - \vec{E}_2 = \ell \cdot \left(\frac{d\vec{E}}{d\ell} \right), \quad (3.11)$$

demak,
$$\vec{F} = q\ell \cdot \left(\frac{d\vec{E}}{d\ell} \right) = P_\ell \cdot \left(\frac{d\vec{E}}{d\ell} \right) \quad (3.12)$$

Skalyar ko'rinishda esa: $F = \frac{d}{d\ell}(\vec{P} \cdot \vec{E})$ ga tengdir. Bu ifodani quyidagicha

ifodalashimiz mumkin
$$\vec{F} = \text{grad}(\vec{P} \cdot \vec{E}), \quad (3.13)$$

Qutblanish vektori. Dielektrikning qutblanganlik darajasini xarakterlash uchun, qutblanish vektori deb ataluvchi fizik kattalik tushunchasi kiritiladi.

Qutblanish vektori ($\vec{P}_\ell$) deb, dielektrikning bir birlik hajmidagi barcha dipollar elektr momentlarining vektor yig'indisiga miqdor jihatdan teng bo'lgan fizik kattalikka

aytiladi, ya'ni dV elementar hajmdagi n ta dipolning elektr momentlari yig'indisini dV

hajmga bo'lgan nisbatiga teng
$$\bar{P}_\epsilon = \frac{1}{\Delta V} \sum_{i=1}^n \bar{P}_{\epsilon i} \quad (3.14)$$

Bu yerda, $\bar{P}_{\epsilon i}$ – qutblangan i – molekulaning elektr momenti.

Agar qutbsiz molekullari izotrop dielektriklar jinsli elektrostatik maydonga kiritilsa,

dipolning elektr momenti $P_{\epsilon i}$ barcha molekulalar uchun bir xil bo'ladi:

$$\bar{P}_\epsilon = \frac{1}{\Delta V} \sum_{i=1}^n \bar{P}_{\epsilon i} = \frac{n \bar{P}_{\epsilon i}}{\Delta V} = n_0 \bar{P}_{\epsilon i} \quad (3.14)$$

Bu yerda, n_0 – dielektrikning birlik hajmidagi molekulalar soni – konsentratsiyasi.

Demak, qutbsiz molekulada induksiyalangan dipolning elektr momenti quyidagicha ifodalanadi:

$$\bar{P}_\epsilon = n_0 \cdot \epsilon_0 \alpha \cdot \bar{E}, \quad (3.15)$$

3.4-rasm. Qutblanish vektori

Agar $n_0 \cdot \alpha = \chi_\epsilon$ deb belgilasak, α – atomning qutblanuvchanligi, χ_ϵ – dielektrikning dielektrik qabul qiluvchanligini bildiradi. $\chi_\epsilon = 4\pi \cdot n_0$, (3.16)

Dielektrik qabul qiluvchanlik deb, bir birlik hajmdagi dielektrik molekulalarining qutblanuvchanligiga miqdor jihatdan teng bo'lgan fizik kattalikka aytiladi.

Elektr sig'imi. Yakkalangan o'tkazgich zaryadlansa, o'tkazgich sirti shakliga qarab,

har xil sirt

3.5-rasm. Elektr sig'imi

zaryadi zichligi σ bilan

taqsimlanadi. Shuning uchun ham o'tkazgich

har bir nuqtasidagi sirt zaryadining zichligi

o'tkazgichdagi umumiy zaryad q ga proporsionaldir, ya'ni:

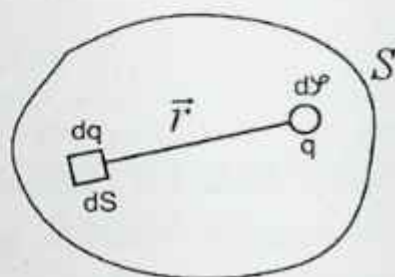
Kondensatorlar elektr aylanishida keng qo'llaniladigan qurilma hisoblanadi. Ular elektr zaryadi va energiyani saqlashda qo'llaniladi.

Quyida ikki turdagi kondensatorga misollar berilgan. Kondensator ikkita teng va qarama-qarshi zaryalarga ega bo'lgan o'tkazgichdan iborat. Kondensatordagi o'tkazgichlar shaklidan qat'iy nazar qoplamalar deb ataladi

Sig'im birligi Kulon taqsim voltga ya'ni, 1 farad ga teng $\sigma = kq$, bu yerda k – o'tkazgich sirtidagi tekshirilayotgan nuqtaning funktsiyasi bo'lib, o'tkazgich sirtining shakli va o'lchamiga bog'liq.

Zaryadlangan o'tkazgich ekvipotentsial sirtining φ - potentsialini aniqlash uchun uning butun S sirti bo'ylab zaryadini aniqlaymiz (rasm).

Bu sirtni, $dq = \sigma dS$ zaryadga ega bo'lgan dS – elementar yuzachalarga ajratib, dq – ni nuqtaviy zaryad deb hisoblaymiz.



Nuqtaviy dq zaryadning $\vec{r}$ masofadagi maydon potentsiali quyidagiga teng

$$d\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 \epsilon} \frac{dq}{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 \epsilon} \frac{\sigma dS}{r} \text{ yoki}$$

$$d\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 \epsilon} \cdot \frac{k \cdot q \cdot dS}{r} \quad (3.17)$$

bo'ladi.

Bu ifoda butun sirt bo'yicha integrallansa, zaryadlangan o'tkazgich sirtining

potentsiali ifodasiga ega bo'lamiz:

$$\varphi = \oint_S \frac{kq dS}{4\pi\epsilon_0 \epsilon} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 \epsilon} \oint_S \frac{k dS}{r} \quad (3.18)$$

O'tkazgichning potentsiali q zaryadga proporsional bo'ladi. Shu zaryadning potentsialga nisbati o'zgarmas kattalikdir, u o'tkazgichning zaryad to'plash xususiyatini belgilaydi va o'tkazgichning elektr sig'imi deb ataladi:

$$C = \frac{q}{\varphi} = \frac{4\pi\epsilon_0\epsilon}{\oint \frac{kdS}{r}} \quad (3.19)$$

Shunday qilib, yakkalangan o'tkazgichning elektr sig'imi deb, uning potentsialini bir birlikka o'zgartirish uchun zarur bo'lgan zaryadga miqdor jihatidan teng fizik kattalikka aytiladi.

Sharchaning elektr sig'imi

R radiusli yakkalangan shar q – zaryadga ega bo'lsa, uning sirtidagi potentsiali

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon R}, \quad (3.20)$$

quyidagiga teng bo'ladi:

$$C = \frac{q}{\varphi} = \frac{q4\pi\epsilon_0\epsilon \cdot R}{q} = 4\pi\epsilon_0\epsilon \cdot R \quad (3.21)$$

bu yerda

Shunday qilib, sharning C – elektr sig'imi sharning radiusiga va muhitning dielektrik singdiruvchanligi ϵ ga proporsionaldir. Ifodadan muhitning dielektrik singdiruvchanligini aniqlaymiz:

$$\epsilon = \frac{C}{4\pi\epsilon_0 R} \quad (3.22)$$

Elektr sig'imi XBS da Farada bilan o'lchanadi va bu birlik juda katta o'lchov birligi hisoblanadi. $C = 1 \text{ F}$ deb hisoblasak, $+q = 1$ bo'lganda

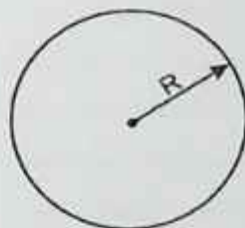
$$R_{1F} = \frac{C}{4\pi\epsilon_0\epsilon} = \frac{F}{4\pi \cdot 1} \left(\frac{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9}{1} \cdot \frac{m}{F} \right) \quad (3.23)$$

bu yerda, vakuumning dielektrik singdiruvchanlik ifodasidan foydalansak:

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} \frac{F}{m} = 0,885 \cdot 10^{-11} \text{ F/m} \quad R_{1F} = 9 \cdot 10^9 \text{ m} = 9 \cdot 10^6 \text{ km} \quad (3.24)$$

ga teng bo'ladi. Bu Oy bilan Yer orasidagi masofaga nisbatan 23 marta kattadir.

Farada katta o'lchov birligi bo'lganligi uchun odatda quyidagi kichik birliklar ishlatiladi:



1 mikrofarada (μF) = $10^{-6} F$

1 nanofarada (nF) = $10^{-9} F$

1 pikofarada (pF) = $10^{-12} F$

Kondensatorlar. Elektr sig'imining ifodasi quyidagidan iborat bo'lgani uchun

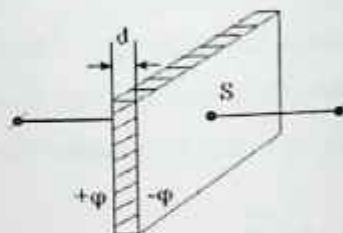
$$C = \frac{q}{\varphi}$$

φ , sig'im asosan, o'tkazgichning shakli va o'lchamlariga hamda muhitning dielektrik singdiruvchanligiga proporsionaldir.

Amalda, nisbatan kichik o'lchamlariga qaramay, yetarlicha zaryadlarni o'zida yig'a oladigan qurilmalar kondensatorlar deb ataladi.

Kondensator ikkita parallel o'tkazgich qatlamidan iborat bo'lib, ularda qarama-qarshi ishorali zaryadlar to'planadi. Qoplamalar orasida dielektrik modda bo'ladi.

Kondensator qoplamalari ikkita yassi plastinkadan, ikkita koaksial silindrdan yoki ikkita kontsentrik sferadan iborat bo'lishi mumkin va ular shakliga binoan yassi, silindrik yoki sferik kondensatorlar deb ataladi.



Odatda kondensatordagi elektr maydoni kuch chiziqlari bir qoplamada boshlanib, ikkinchisida tugaydi. Kondensator sig'imi qoplamalardagi zaryad miqdoriga to'g'ri proporsional va qoplamalar orasidagi potentsiallar farqiga teskari proporsionaldir:

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} \quad (3.25)$$

Rasmda kondensator tasvirlangan. S – yuzali ikkita yassi metall plastinkalar orasidagi masofani d ga teng deb hisoblaymiz, qoplamalarda esa $-q$ va $+q$ sirt zaryadlari induktsiyalangan bo'ladi. Qoplamalar orasidagi elektr maydonini bir jinsli, S –yuzali ikkita yassi metall plastinkalar orasidagi masofani d ga teng deb hisoblaymiz, qoplamalarda esa $-q$ va $+q$ sirt zaryadlari induktsiyalangan bo'ladi.

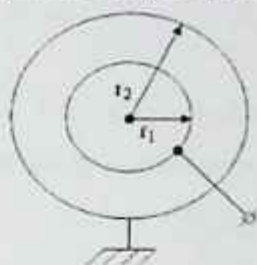
Qoplamalar orasida ϵ dielektrik singdiruvchanlikka ega bo'lgan modda bo'lsa,

$$\text{potentsiallar farqi quyidagiga teng bo'ladi: } \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{\sigma d}{\pi \epsilon_0 \epsilon} \quad (3.26)$$

bu yerda, $q = \sigma \cdot S$, σ - sirt zaryadi zichligi, S – qoplamalar yuzasi. Natijada, yassi kondensator sig'imi quyidagiga teng bo'ladi:

$$C = \frac{\epsilon \epsilon_0 q}{\sigma d} = \frac{\epsilon \epsilon_0 \sigma \cdot S}{\sigma d} = \epsilon_0 \epsilon \frac{S}{d}$$

Sferik kondensator. Qoplamalarining radiuslari r_1 va r_2 bo'lgan sferik kondensator rasmda tasvirlangan.



Kondensator qoplamalarida q zaryad induktsiyalangan

bo'lganda, ular orasidagi potentsiallar farqi quyidagicha ifodalanadi:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right), \quad (3.27)$$

bu yerda, r_1 va r_2 ichki va tashqi sferik qoplamalar radiuslaridir. Shuning uchun sig'im quyidagicha ifodalanadi:

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} = 4\pi\epsilon_0\epsilon \left(\frac{r_1 \cdot r_2}{r_2 - r_1} \right) \quad (3.28)$$

Agarda r_2 tashqi radius va r_1 ichki radiusdan juda katta bo'lsa:

$$C = 4\pi\epsilon_0\epsilon r_1 \quad (3.29)$$

bo'ladi.

Bu natija tashqi qoplama sferik bo'lmaganda ham o'rinli bo'lgani uchun, uni yakka sharoitda deb hisoblaymiz.

Agarda $r_2 - r_1 = d$ – qoplamalar orasidagi masofa qoplamalarning o'rtacha radiusidan juda kichik bo'lsa, sferik kondensatorning sig'imi quyidagicha

ifodalanadi,

$$C = 4\pi\epsilon_0\epsilon \cdot \frac{r_1 \cdot r_2}{r_2 - r_1} \approx 4\pi\epsilon_0\epsilon \frac{r^2}{d} = \epsilon_0\epsilon \frac{S}{d} \quad (3.30)$$

bu yerda, $C = 4\pi r^2$ – qoplamalar sirtlarining yuzasidir.

Silindrik kondensator. Bu holda kondensatorni radiuslari r_1 (ichki) va r_2 (tashqi) ilkkita koaksial silindr ko'rinishdagi qoplamalardan iborat bo'ladi, deb hisoblaymiz. Silindrlarning uzunligi ular orasidagi masofadan juda katta deb hisoblanadi. Qoplamalar orasidagi potentsiallar farqi quyidagidan iborat bo'ladi:

$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{q}{2\pi\epsilon_0\epsilon\ell} \ln \frac{r_2}{r_1}$, bu yerda, q - silindr uzunligidagi zaryad, $\frac{q}{\ell}$ - birlik uzunlikdagi zaryad va ℓ - silindr uzunligidir.

Birlik uzunlikka to'g'ri keluvchi silindrik kondensator sig'imi quyidagiga tengdir:

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon\ell}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (3.31)$$

Qoplamalar orasidagi masofa d silindrlar radiuslariga nisbatan juda kichik bo'lsa, bu holda silindrik kondensator sig'imi quyidagidan iborat bo'ladi:

$$C = \epsilon\epsilon_0 \frac{S}{d} \quad (3.32)$$

Elektrostatik maydon energiyasi. Elektrostatik maydon – potentsial maydondir, shuning uchun unga kiritilgan zaryadlar potentsial energiyaga ega bo'ladilar. q_1 va q_2 nuqtaviy zaryadlarning potentsial energiyalarini baholaymiz. Har bir zaryad, boshqa zaryad maydonida potentsial energiyaga ega bo'ladi:

$$W_1 = q_1 \cdot \varphi_{12}, \quad W_2 = q_2 \cdot \varphi_{21} \quad (3.33)$$

φ_{12} – q_2 – zaryadning q_1 zaryad turgan joyda hosil qilgan potentsialidir,

φ_{21} – q_1 – zaryadning q_2 zaryad turgan joyda hosil qilgan potentsialidir.

$$\varphi_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \frac{q_2}{r}, \quad \varphi_{21} = \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0\epsilon r} \quad \text{shuning uchun} \quad W_1 = W_2 = W \quad (3.34)$$

$$W = q_1 \cdot \varphi_{12} = q_2 \cdot \varphi_{21} = \frac{q_1 \cdot \varphi_{12} + q_2 \cdot \varphi_{21}}{2} \quad (3.35)$$

Yakkalangan zaryadli o'tkazgich energiyasi. O'tkazgich q - zaryadga, C – sig'imga va φ - potentsialga ega bo'lsin. O'tkazgich zaryadini dq ga oshiramiz. Uning uchun cheksizlikdan, dq zaryadni o'tkazgichga ko'chiramiz. Bu holda

$$\text{bajarilgan ish } dA = \varphi \cdot dq = \varphi \cdot C \cdot d\varphi \quad (3.36)$$

$$\text{ga teng bo'ladi, chunki } q = C\varphi, \quad dq = C \cdot d\varphi \quad (3.37)$$

$$\text{Bajarilgan to'la ish } A = \int_0^q C \cdot \varphi d\varphi = C \int_0^q \varphi d\varphi = C \frac{\varphi^2}{2}, \quad (3.38)$$

$$W = A = \frac{C \cdot \varphi^2}{2} = \frac{q \cdot \varphi}{2} = \frac{q^2}{2C} \quad (3.39)$$

Zaryadlangan kondensator energiyasi quyidagiga teng bo'ladi:

$$W = \frac{C(\varphi_1 - \varphi_2)^2}{2} = \frac{C(\Delta\varphi)^2}{2} = \frac{q \cdot \Delta\varphi}{2} \quad (3.40)$$

Dielektriklar. Ko'pgina kondensator plastinalari orasiga izolyatsiyalovchi material joylashtiriladi, qog'oz va plastik singari bu materiallar dielektriklar deb ataladi (3.6-rasm). Bular turli maqsadlarga xizmat qiladi. Birinchidan, dielektrlarda havo bo'shligiga qaraganda yengil proboy hosil qilinadi, bundan tashqari, qatlam orqali zaryadlarni tashimasdan yuqori kuchlanishlarni qo'llash mumkin. Bundan tashqari, dielektriklar plastinalarni bir-iriga tekkizmasdan juda kichik masofalargacha yaqinlashtirish imkonini beradi, shunday qilib, tenglamaga ko'ra d kichik bo'lgani uchun kondensator sig'imi ortadi. Uchinchidan, agar ikkita o'tkazgich orasidagi bo'shliq dielektriklar bilan to'ldirilsa, dielektrik doimiy deb nomlanuvchi K factor bo'yicha sig'im ortishi tajribalarda tekshirilgan.

Shunday qilib, yassi kondensator uchun

Buni quyidagicha yozish mumkin:

$$C = \epsilon \frac{A}{d}$$

bu yerda, $\epsilon = \kappa \epsilon_0$ bo'lib materialning dielektrik singdiruvchanligi deb ataladi.

Odatda jadvallarda turli materiallar uchun dielektrik doimiyning kattaliklari berilgan bo'ladi. Bundan tashqari, poroboy kuzatilishi mumkin bo'lgan maksimal elektr maydoni, dielektrik mustahkamlik qiymatlari ham berilgan bo'ladi.

KONSEPTUAL MISOL. Doimiy V ga dielektrikni kiritish. Havo bilan to'ldirilgan orasidagi masofa d bo'lgan ikkita parallel plastinadan tashkil topgan kondensator doimiy V kuchlanishli batareyaga ulandi va Q zaryad to'pladi. Kondensator batareyaga ulanib turgan holatida uning ichiga $\epsilon=3$ bo'lgan dielektrik material kiritildi. Q zaryad ortadimi, kamayadimi yoki qiymati o'zgarmaydimi?

JAVOB: Kondensator manbaga ulangan holatda turganida uning kuchlanishi o'zgarmaydi va u batareya kuchlanishiga teng bo'ladi. Agar kondensator ichiga dielektrik material kiritilganda uning sig'imi tenglamaga muvofiq ortadi, chunki ϵ ning qiymati ortgan. $Q=C\phi$ munosabatga ko'ra, agar ϕ doimiy bo'lsa va C ortsa Q ham ortishi lozim. Kondensator plastinalari orasiga dielektrik kiritilganda batareyadan ko'proq zaryadlar kondensatorga tortiladi va plastinalarga joshlashadi va natijada sig'im ortadi.

Savol: misoldagi plastinalar orasidagi bo'shliq dielektrik bilan to'ldirilsa, (a) sig'im va (b) har bir plastinadagi zaryad qanday factor bilan o'zgaradi?

KONTSEPTUAL MISOL. Izolyatsiyatlangan kondensatorga dielektrik kiritish. Yuqoridagi misoldagi havo bilan to'ldirilgan kondensator (Q) gacha zaryadlanib keyin manbadan uzildi. Keyin plastinalari orasiga dielektrik kiritildi. Q , C yoki ϕ o'zgaradimi?

JAVOB: Kondensatorning zaryadi Q o'zgarmasdan qoladi, sababi tashqaridan zaryad oqimi to'xtagan. Sig'imi plastinalar orasiga dielektrik kiritilganligi uchun ortadi (3.37). Kondensator plastinalari orasidagi kuchlanish o'zgaradi – u kamayadi, chunki 3.37 tenglamaga ko'ra $Q=C\phi$, bundan $\phi=Q/C$; agar Q doimiy saqlansa va C ortsa, u holda ϕ kamayadi.

* Dielektrlarning molekulyar ifodalanishi

Kondensator plastinalari orasiga dielektrik kiritilganda uning sig'imi katta bo'lishini molekulyar nuqtai nazardan tekshirib ko'ramiz. Plastinalari $+Q$ va $-Q$ bilan zaryadlangan va orasi havo bilan to'ldirilgan C_0 sig'imli kondensator berilgan. Kondensator manbadan uzilgan va plastinalari orasida zaryad oqimi mavjud emas deb faraz qilamiz. Plastinalar orasida potensiallar farqi ϕ_0 3.37- tenglama bo'yicha berilgan:

$$Q=C_0 \phi_0$$



3.6-rasm. Dielektrikda effektning molekulyar ko'rinishi

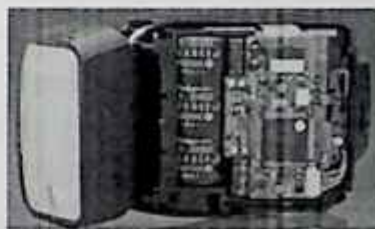
bu yerda, pastki indekslar plastinalar orasi havo bilan to'ldirilganligini ko'rsatadi. Endi plastinalar orasiga dielektrik kiritamiz (17-19b-rasm). Kondensator plastinalari orasida elektr maydon mavjudligi tufayli dielektrik molekulalari 3.6 b-rasmda ko'rsatilgandek orientatsiyalanishi mumkin. Agar dielektrik molekulalari polyar bo'lsa, u holda uning musbat tomoni kondensator manfiy tomoniga, manfiy tomoni esa kondensatorning musbat tomoniga tortiladi. Agar dielektrik molekula poyar bo'lmasa ularning elektronlari kondensator musbat plastinasi tomoniga tortiladi va effekt oldingi holatdagidek bo'ladi. Hosil bo'lgan dipollarning natijaviy effekti bo'lib 3.6 c - rasmda ko'rsatilgandek, dielektrik yuzasining tashqi qatlamidagi natijaviy manfiy zaryadlar musbat plastina va musbat zaryadlar esa qarama-qarshi, ya'ni manfiy plastina tomonga tortiladi.

Ba'zi elektr chiziqlari dielektrik orqali o'tmaydi, biroq 3.6c-rasmda ko'rsatilgandek yuzada vujudga kelgan zaryadlarda tugaydi. Shunday qilib, dielektrik ichida elektr maydon havoga nisbatan kichik bo'ladi. Bu dielektrik bilan to'ldirilgan kondensator plastinalari orasidagi elektr maydon ba'zi bir K faktor bo'yicha kamayadi. Kondensator orqali o'tuvchi kuchlanish ba'zi bir K faktor bo'yicha kamayadi, chunki $V=Ed$ bundan, tenglamaga muvofiq $Q=C\phi$, berilgan doimiy Q da sig'im C shunday K faktor bo'yicha ortadi.

Elektr energiyasining saqlanishi

Zaryadlangan kondensator elektr energiyasini $+$ va $-$ zaryadlarga ajratgan holda saqlaydi. Kondensatorida saqlangan energiya zaryad bajargan ishga teng bo'lishi mumkin. Kondensatorni zaryadlashdagi natijaviy effekt zaryadni bir plastinadan ikkinchi boshqa plastinaga ko'shirishi va qo'shishi hisoblanadi. Bu batareyani kondensatorga ulash bajarilishi hisoblanadi.

Kondensator keskin zaryadlanib qolmaydi. Bu bir qancha vaqtni talab qiladi (19-6 bo'lim). Boshlang'ich bosqichda kondensator zaryadlanmagan, zaryadlarni ko'shirishda ish talab qilinmaydi. Ko'p miqdordagi zaryadni ko'chirishda kuchlanish V ni ortirish uchun



3.7-rasm. Kamera lampasi. 660 mkF dali qora kondansator

zaryadni teskari ko'shirishda ish bajarishga muhtoj bo'ladi. Potensiallar farqi V bo'lganda, bir qismi Δq zaryadni qo'shishda ish $\Delta W = V\Delta q$ ga teng. Umumiy Q zaryadni ko'shirishda kerak bo'ladigan to'liq ish ko'chirish jarayonidagi o'rtacha kuchlanishga teng bo'lgan kuchlanish orqali barcha Q zaryadlarni ko'chirishda kerakli ishga ekvivalent bo'ladi. (Bu 6-4 bo'limda, 148-betdagi prujinani cho'zishda bajarilgan ishni hizoblashga o'hshaydi). O'rtacha kuchlanish $(V_f - 0)/2 = V_f/2$, bu yerda V_f yakiniy kuchlanish; umumiy zaryadni ko'shrishda bajarilgan ish:

$$W = Q \frac{V_f}{2}.$$

Shunday qilib, kondensatorda saqlanuvchi elect zaryad potensial energiyasi quyidagicha bo'ladi:

$$PE = \text{energiya} = \frac{1}{2} QV,$$

bu yerda, V - plastinalar orasidagi potensiallar farqi (indeks tashlab yuborilgan) va Q har bir plastinadagi zaryad. $Q = CV$ dan tenglikni quyidagicha yozish mumkin:

$$PE = \text{energiya} = \frac{1}{2} QV = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}. \quad (3.41)$$

Misol. Kondensatorda energiya saqlanishi. Kamera lampasi kondensatori $660 \mu F$ sig'imga va $330V$ kuchlanishda energiyani saqlaydi (3.7-rasm). (a) Bunda qancha elektr energiyasi saqlanishi mumkin? (b) Agar barcha energiya 1.0 ms da sarflansa chiqish quvvati qanday?

YONDASHUV. Biz (3.41) tenglamaning $PE = \frac{1}{2} CV^2$ shaklidan foydalanamiz,

chunki, bu yerda C va V lar berilgan.

YECHIM (a) Saqlangan energiya

$$PE = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} (660 \times 10^{-6} F)(330V)^2 = 36 J.$$

ga teng bo'ladi.

(b) Agar energiya $1/1000 \text{ s}$ ichida sarflansa ($1.0 \text{ ms} = 1.0 \times 10^{-3}$), chiqish quvvati

$$P = \frac{PE}{t} = \frac{36 J}{1.0 \times 10^{-3} s} = 36.000 W.$$

MASHQ: Kondensator $9.0 V$ da $0.50 J$ energiyani saqlaydi. Uning sig'mi nimaga teng?

KONTSEPTUAL MISOL. Kondensator plastinalari orasidagi masofani **ortirish**. Yassi kondensator Q zaryad bilan zaryadlandi va batareyadan uzildi. Ikkita plastinalar dastlab d masofaga ajratilgan edi. Plastinalar orasidagi masofa 2d ga oshirildi deb taxmin qilamiz. Kondensatorning ushbu o'zgarishidan keyin qancha energiya saqlanadi?

JAVOB: Agar plastinalar orasidagi masofa orttirilsa, (3.41) tenglamaga muvofiq sig'im 2 faktori bo'yicha kamayadi, $C = \epsilon_0 A/d$. Bunda Q zaryad o'zgarmaydi. (3.41)

tenglamaga muvofiq $PE = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$ shaklni tanlab olamiz, chunki bizga Q o'zgarmasligini va C 2 marta kamayishini bilamiz. C ning kamayishi saqlangan PE ni 2 marta ortishiga olib keladi.

E'TIBOR QILING. Fizika nuqtai nazaridan saqlangan energiya ortishini ko'rishimiz mumkin: ikkita plastina teng va qarama-qarshi ishorli zaryadlar bilan zaryadlangan bo'lsa, u holda ular bir-biri bilan tortishadi. Agar biz ularni ajratsak, biz ish bajarishimiz lozim, bu holda biz potensial energiyani oshiramiz.

Kondensatorda energiya saqlanishini plastinalar orasidagi elektr maydoni energiyasining saqlanishi sifatida qarash mumkin. Keling, misollarda yassi kondensatorda energiya saqlanishini elektr maydoni energiyasi orqali hisoblaylik.

Ikkita yopiq parallel plastinalar orasidagi elektr maydoni $\vec{E}$ bir jinsli hisoblanadi, va uning kattaligining potentsiallar farqiga nisbati bo'ladi $V = Ed$ (17-4 tenglama), bu yerda d-plastinalar orasidagi masofa. Bundan tashqari, yassi kondensator uchun 17-8 tenglama bizga $C = \epsilon_0 A/d$ ni beradi. Shunday qilib,

$$PE = \frac{1}{2} \left(\epsilon_0 \frac{A}{d} \right) (E^2 d^2) = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 A d.$$

Elektr maydon E mavjud bo'lganda Ad miqdor plastinalar orasidagi hajmga teng. Agar oxirgi tenglikning ikkala tomonini hajmga bo'lib yuborilsa, u holda birlik hajmga to'g'ri keluvchi energiya yoki energiya zichligi ifodasini olamiz:

????

Bo'shliqning har qanday sohasida birlik hajmdagi saqlanuvchi elektr energiyasi shu soha elektr maydoni kvadratiga to'g'ri proporsional bo'ladi. Biz (3.41) tenglamani

maxsus yassi kondensator holi uchun oldik. Biroq bu elektr maydon mavjud bo'lgan har qanday soha uchun to'g'ri bo'lishini ko'rishimiz mumkin. Haqiqatan, bu natijadan elektromagnit nurlinishni muhokama qilganimizda foydalanishimiz mumkin

Sog'lik effekti

Katta sig'imga saqlanuvchi energiya insonni jarohatlashi yoki shok holatiga tushirishi mumkin. Inson elektr zanjirga yoki boshqa elektron qurilmaga tegmasligi kerakligi haqida ogohlantirilishining sababi shundaki, tashqi quvvatdan uzilgan holatda ham kondensatorda zaryad oqimi bo'lishi mumkin.

Boshqa tomondan, yurak defibrillyatorining asosi katta kuchlanish bilan zaryadlangan kondensator hisoblanadi. Yurak urishi yurakning tez-tez noto'g'ri urishi bilan xarakterlanishi mumkin. Agar tana to'g'ri dam olganda yurak qonni haydamaydi va agar so'nggi uzoq muddatda uzluksiz urishdan to'xtasa natija o'lim hisoblanadi. To'satdan defibrillyatordan yurak orqali zaryadning qisqa vaqtda o'tishi yurakning to'liq to'htashiga sabab bo'lishi mumkin, ba'zan esa bu yurakning normal urishiga olib kelishi ham



3.8-rasm.Yurak defibrillyatori

mumkin. Defibrillayator kondensatori bir necha ming voltli yuqori kuchlanishlarda zaryadlanadi va gavda ustidagi tok kuchi tarqatuvchi lopatka keng kontaktlari juftligi orqali keskin razaryadlanish imkonini beradi (3.8 -rasm).

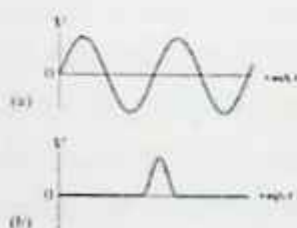
Batareyalar va devordagi razetkalar doimiy kuchlanish manbai bo'lib, yorug'lik lampalari, elektr isitkichlar va boshqa elektr va elektron qurilmalarni quvvat bilan ta'minlaydi.

Kuchlanish signali bir tarafdin ta'sir ko'rsatuvchi kuchlanidan boshqa narsa emas. Kuchlanish signali vaqt bo'yicha o'zgaradi va bundan tashqari juda qisqa bo'lishi mumkin. Masalan, yuqori sifatli mikrofondan chiqish kuchlanish ham sinusoid bo'lishi toza ovoz sifatidagi tovush to'lqinlari sinusoida bo'lishi mumkinligini va yuqori sifatli mikrofondan chiqish kuchlanish ham sinusoid bo'lishi mumkinligini muhokama qilgan edik tengamalar). Kuchlanish signali kuchayib dinamikka etib keladi va tovush to'lqinini hosil qiladi. Kuchlanish signali (rasmga qarang) ba'zan

sodda impuls hisoblanadi (rasmdagi singari) va elektron qurilmalarning bir qator holatlariga tez-tez ta'sir qilib turadi.

Kuchlanish signallari mobil telefonlarga ("Men signalni oldim"), Internet orqali kompyuterlarga yoki tasvir va ovoz ma'lumotlari bilan televizorlarga uzatiladi. Ancha uzoq bo'lmagan o'tmishda kuchlanish signallari analog signallar bo'lgan – 3.8 - rasmdagi singari kuchlanish davomiy o'zgartirib turilgan.

Bugungi kunda televizor va kompyuter signallari ikkilik sanoq sistemasi sonlari ko'rinishidagi raqamli signallar hisoblanadi. 609 singari to'g'ri sonda on' 0 dan 9 gacha bo'lgan raqamlardan tanlanadi va bu to'g'ri sonlar o'nli sonlar deb ataladi.



3.8-rasm. Ikki xil kuchlanish signali. (a) sinusoidal; (b) impuls. Ikkalasi ham analog signal.

3.9 jadval. Ikkilik va o'nli sanoq sistemalari sonlari

Ikkiлик	O'nli
00000000	0
00000001	1
00000010	2
00000011	3
00000100	4
00000111	7

Ikkiлик sonlarda har bir raqam yoki bit faqatgina ikkita 0 yoki 1 imkoniyatga ega (ba'zan "bor" yoki "yo'q" deb ifodalanadi). Ikkilık sonda 0001 "bir" 0010, 2, 0011, 3 1101ni anglatadi va o'lik sanoq sistemasida $8+4+0+1=13$ ni anglatadi. 17-4 jadvalga qarang va tartibli o'nli sanoq singari sanoq o'ngdan boshlanishini eslab qoling ("bir" keying raqam, uzoq o'ngdagi, u holda chap tomondagi "o'n" va "yuz": 609 uchun "bir" 9, "yuz" 6 hisoblanadi). Har qanday kattalik 3,8-rasmda ko'rsatilgandek kuchlanish bo'yicha ifodalanishi mumkin.

"1" +5V singari musbat kuchlanish, "0" 0V bo'ladi. Signal yorqinligi masalam, yupqa tasvirning milliontadan har biri yoki tekevizor va

kompyuter ekraning "subpiksel"lar bitlardan tashkil topgan (17-11 bo'lim tenglama).

1 bayt 8 bit bo'ladi

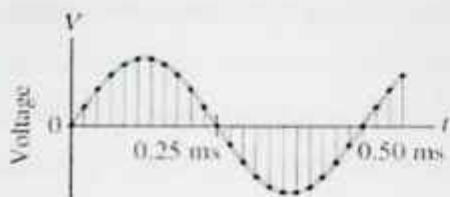
Har bir bayt 8 bit $2^8=256$ imkoniyatni angelaydi. (bu 0 dan 255 gacha bo'ladi) yoki 3 ta rang: qizil, yashil, ko'k uchun 256 chaqnash hisoblanadi. Har bir pikselning to'liq ranglari (3 ta rangning subpiksel ranglari) $(256)^3=17 \times 10^6$ ranglarga ega. Keyingi bo'limda muhokama qilinadigan raqamli televideniya signallari sekundiga 19 Mb

ma'lumotlarni uzatadi (19Mb/s). Shunday qilib, 19×10^6 bit bir sekund yoki bir bit har 53 nanosekund ichida uzatiladi. Biz baytning bu hadini 2.4 MB/s sifatida yozishimiz mumkin, bu yerda bayt uchun B dan foydalanamiz.

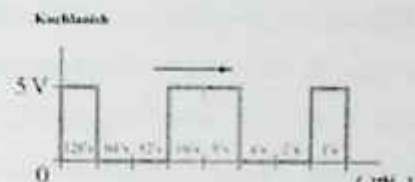
3.8a-rasmda keltirilgan sinus qonuni bo'yicha o'zgaruvchi analog signali raqamli signalga aylantiriladi (Analog signalni raqamli signalga aylantirish), bunda raqamli signal 3.8-rasmda ko'rsatilgan ko'k kvadratlar ko'rinishida bo'ladi. Raqamli signallar diskret kattaliklarning chekli sonlariga ega. Haqiqiy davomiy analog signali va uning raqamli ko'rinishi orasidagi farq kvantlash hatosi yoki kvantlash yo'qotishi deb nomlanadi.

Yo'qotishni minimal qilishda ikkita muhim faktor mavjud: (i) ajrata olish yoki bit chuqurligi bu bitlar soni yoki har bir chastotaning kuchlanishi uchun kattaliklar hisoblanadi; (ii) diskretlash chastotasi bu analog kuchlanish o'lchanuvchi birlik vaqtdagi sonlar davri hisoblanadi. 100 Hz sinus to'lqini uchun raqamli ko'rinishni qaraylik: 3.8 rasmda (i) 0 dan 6 V gacha 2 bit chuqurlik faqatgina 4 ta kuchlanish o'lchangan (00,01,10,11 yoki o'nlik sanoqda 0,1,2,3) va (ii) 900 Hz yoki 900 ta tebranish/s bol'ganda (bir siklda 9 ta chastota yoki to'lqin uzunlik) $\times (100 \text{ siki/s} = 100 \text{ Hz})$ diskretlash chastotasi ko'rsatilgan. Bu juda yomon sifat hisoblanadi. Yuqori sifatli qayta ishlab chiqarish uchun katta xotirani va ko'p ma'lumotlar uzatilishini talab qiluvchi yuqori bit chuqurligiga va yuqori diskretlash chastotasiga ega bo'lish lozim.

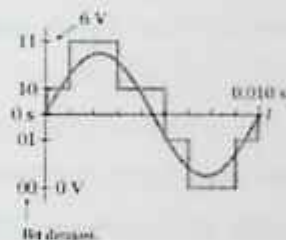
Audio CD uchun diskretlash chastotasi 44.1 kHz (sekundiga 44.100 ta tebranishlar) va 16 bitlik ajrata olish qobiliyati, 0 dan 5 V gacha kuchlanishning turli darajalari orasida har bir kuchlanish $28 \times 28 = 216 \approx 65.000$ tebranishga ega ekanligini anglatadi. Detallari uchun 17-25 rasmga qarang. Bugungi kunda audio yozuvda 96 kHz va 24 bit ($216 \approx 17 \times 10^6$ kuchlanish darajasi) lardan foydalanish haqiqiy analog signalga (super CD da yoki qattiq disk xotirasida) eng yahshi yaqinlashishni beradi, biroq uzatish jarayonida 44.1 kHz va 16 bit gacha pasaytirish lozim. (DVDda tovush uchun 192 kHz diskretlash chastotasi ishlatilishi mumkin). Biroq iPodlar va MP3 playerlar past diskretlash chastotasiga ega va ko'pgina tinglobchilar payqashi mumkin bo'lgan kam deyllarga ega.



3.11-rasm. Sof 2000 Hz tovushga asoslangan mikrofondan chiquvchi analog elektr signali ifodalovchi sinus to'liqlar ko'rsatilgan. (11 va 12 boblarga qarang). Analog-raqamli elektron signali bir sekunda intervallarda ko'p takrorlanuvchi kuchlanish signallari yozib olingan va o'lchangan. Grafikning har bir nuqtasida o'lchangan kuchlanish ifodalangan. Bu diagrammada diskretlash chastotasi har bir sekunda 44.100 yoki 44.0kHz ga teng. Bunda har bir tebranish $(1s)/44.100=0.000023s=0.023\text{ ms}$. Grafikdagi 0.50 ms ichida 22 ta qadam olingan (qora nuqtalar). Bu qadamlarni 3.12 rasmga solishtirish uchun alternativ usul hisoblanadi va qadam (nuqtalar) orasida hech qanday o'zgarish ro'y bermaganligini ko'rishimiz mumkin.



3.10 rasm. Raqamli signal o'zgarishi. Kuchlanishning t yoki x dagi holati. Bu kuchlanish o'zgarishini 10011001 yoki 153 $(=128+0+0+16+8+0+0+1)$ deb raqamlash mumkin. 3.11-rasm. 100 Hz chastotada (1 to'liqin uzunligi 0.010 s davrga teng) sinus to'liqinli analog signal (qizil chiziq), 2-bitli raqamli signalga aylantirilgan (ko'k chiziq).



3.12 rasmda 44.1 kHz da 2000Hz tovushning ba'zi detallari berilgan. Normal musiqa tovushi turli chastotali va amplitudali sinus to'liqlari yig'indisi kompleksi hisoblanadi. 12-14 rasmda soda yig'indilash berilgan. 3.12 rasmda boshqa bir misol ko'rsatilgan, bu yerda raqamli aylantirish bo'yicha yahshi detal olish mumkin bo'lganligini ko'rish mumkin. 3.15 rasmga qarang: agar 20.000 Hz (inson eshitish chegarasidan katta bo'lgan chastota) bo'lganda bu to'liqin uzunligida faqatgina ikkita tebranish sodir bo'lar edi. Bu ikkala tebranish nol kuchlanishli – aniq butun to'liqin shakli bo'lishi



3.12rasm. 17-25 rasmning sof sinus to'liqlariga qaraganda biroz ko'p bolgan normal hisoblanuvchi signal kompleksning turi. Tebranishlar barcha detallarni o'z ichiga olmasligi mumkin, chunki to'liqin shakl vaqt bo'yicha juda tez o'zgaruvchi hisoblanadi.

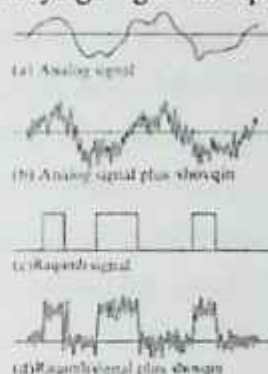
mumkin. Ko'pgina yuqori to'liqin uzunlikalari, oxir oqibat ro'liqin shaklini qayta hosil qilishi mumkin. Biroq ko'p tovushlar pianino notasiga dastlabki urilsh yoki gitara strunasi chalingandagi singari millisekundlardan kam bo'ladi. Ko'pgina audio tinglovchilar haqiqiy vinil yozuv va uning 44.1kHz da CD yozuvi orasida farqni eshitadilar.

Raqamli audio signal dinamik orqali uzatishdan oldin analog signaliga (raqamli-analog aylantirgich) aylantirilishi lozim. Televizorda har bir raqamli signallar uzatilishdan oldin analog signalga aylantiriladi, bundan tashqari tasvirlarning o'zi raqamli bo'lishi lozim.

Raqamli fotografiya tekis tasviri hisol qilishi uchun million "piksellardan" tashkil topgan bo'ladi. Bundan tashqari,

* Shovqin

Raqamli ma'lumotlarni uzatish boshqa boshqa bir ahamiyatga ega: shovqin deb nomlanuvchi har qanday buzilish yoki tashqaridan kiruvchi (tashqi) keraksiz elektr signallari analog signallarni buzilishiga olib kelishi mumkin: 3.13 rasmda vaqt bo'yicha o'zgaruvchi analog signali ko'rsatilgan va 3.13b rasmda u bilan interferensiyalashuvchi tashqi shovqin ko'rsatilgan. Biroq raqamli signal shovqinlar signal biti yarimi tartibida katta bo'lsa ham qayta tiklanuvchan bo'ladi (3.13c va d rasmlar).

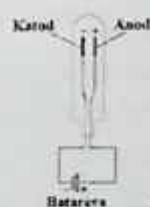


3.13-rasm. (a) haqiqiy analog signal va (b) ushbu signal tashqi signal (=shovqin) bo'yicha buzilishi. (c) Raqamli signal qayta tiklanuvchan (d) hatolarsiz agar shovqin katta bo'lmasa.

17-11 TV va kompyuter monitorlari: KNT, yassi ekranlar Birinchi televidion priyomniklarda katod nurli trubka (KNT) ishlatilgan va ular yaqin 2008-yilda barcha yangi televizor sotuvlarining yarmini tashkil etgan. Ikki yildan keyin sotib olish uchun KNTli televizor topish qiyin bo'lgan. Yangi televizorlar yassi ekranli plazma yoki suyuq kristalli displeylar (LCD) bo'lsa ham, KNTning qanday ishlashini tushunish foydalidir.

KNT

KNTning ishlashi Tomas Edison (1847-1931) tomonidan kashf qilingan termoelektron emissiya hodisasi bilan bog'liq. 17-28-rasmda ko'rsatilgandek, ichida vakuum hosil qilingan shisha „trubka“ ichidagi ikkita kichik elektrodga qo'yilgan kuchlanishni qaraylik: katod manfiy va anod musbat. Agar katod qizdirilsa (odatda elektr toki orqali) u issiq va otashin bo'ladi, bunda manfiy zarralar katodni tark etib, musbat anodga tomon oqishi aniqlangan. Bu manfiy zaryadlar hozirda elektronlar deb ataladi, ammo daslab ular katod nurlari deb aytilgan, chunki ular katoddan kelayotganga o'xshagan (27-1-bo'limda elektron kashf qilinishi to'g'risida batafsil ma'lumot keltirilgan).



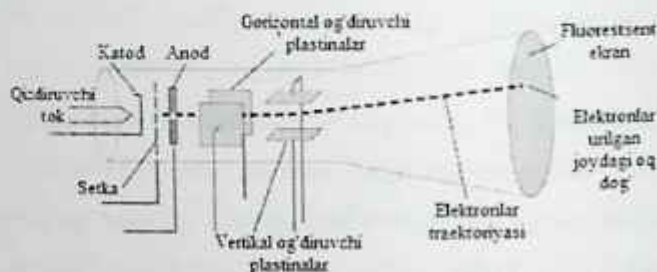
3.14-rasm. Agar vakuum hosil qilingan trubka ichidagi katod qizdirilib cho'g'latilsa (bu yerda ko'rsatilmagan elektr toki orqali), manfiy zaryadlangan "katod nurlari" (=elektronlar) "qaynab chiqadi" va anod (+) tomonga oqadi va unga yopishib qotadi.

3.14 rasm KNTning soddalashtirilgan chizmasi bo'lib, u vakuumli shisha trubka ichiga joylashtirilgan. Qizdirilgan katoddan chiqqan elektronlar oqimi yuqori kuchlanishli anod tomonidan tezlatiladi va bu anoddagi kichik tirqish orqali o'tadi. Trubka o'ng taraf devorining ichqi tomoni (ekran) elektron kelib tushganda chaqnaydigan flourestsent material bilan qoplangan. Gorizontal va vertikal og'diruvchi plastinalar orasiga kuchlanish qo'yilgan,

3.15-rasm va elektronlar oqimini ekranning turli nuqtalariga yo'naltirish uchun o'zgartirilishi mumkin.

3.15 rasm. Katod nurli trubka.

Magnit og'diruvchi o'ramlar elektrik og'diruvchi plastinalar bilan birgalikda ishlatiladi. Elementlarning



3.16 rasm. Elektron oqimi KNTli televizor ekrani bo'ylab ketma-ket gorizontal chiziqlar bo'yicha harakatlanadi. Har bir gorizontal chiziq gorizontal og'diruvchi plastinalardagi (3.16asm) kuchlanishni o'zgartirish orqali hosil qilinadi. Keyin vertikal og'diruvchi plastinalardagi kuchlanish o'zgartirilib, elektron nur

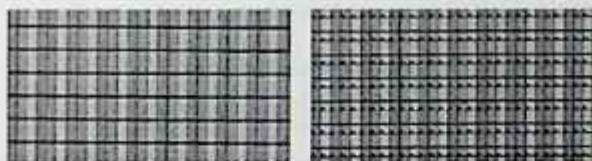
nisbiy joylashuvi tushunarli bo'lishi uchun kengaytirilgan. Televizorlar va kompyuter monitorlarida KNTning elektron nuri og'diruvchi plastinalarga (umumiy holda magnit og'diruvchi halqalar orqali – 20-bob) ehtiyotkorlik bilan sinxronlashtirilgan kuchlanishlar qo'yilishi orqali ekran bo'ylab 17-30-rasmda ko'rsatilgandek harakatlanadi. Elektron nurning har bir gorizontal harakati davomida, setka (3.15-rasm) harakatning har bir onida elektronlar oqimini cheklovchi signal kuchlanishini qabul qiladi; setka kuchlanishi qanchalik kattaroq manfiy kuchlanishga ega bo'lsa, elektronlar shunchalik qaytarilib, kamroq elektronlar o'tadi va ekrandagi dog' yorqinligi kamroq bo'ladi. Shuning uchun setka kuchlanishining o'zgarishi ekrandagi har bir dog' yorqinligiga javobgar. Elektron oqimining har bir gorizontal harakati ohirida gorizontal og'diruvchi kuchlanish keskin o'zgarib, oqimni orqaga, ya'ni ekranning qarama-qarshi tomoniga olib o'tadi, vertikal

kuchlanish esa juda kam o'zgarib, oqimni oldingi chiziqdan sal pastroqdagi yangi gorizontal chiziqqa olib o'tadi. Ekrandagi dog'lar yorqinligining farqi „rasm“ni hosil qiladi. Rangli ekranlar qizil, yashil va ko'k fosforlarga ega bo'lib, elektron oqimi tomonidan urilganida chaqnaydi. Qo'shni qizil, yashil va ko'k fosforlarning (bir biriga shunchalik yaqinki, biz ularni ajrata olmaymiz) turli yorqinliklari deyarli barcha ranglarni hosil qiladi. AQShda analog televideniya 480 ko'zga ko'rinuvchi gorizontal chiziqlarga ega bo'lib, har 1/30 s da to'liq tasviri hosil qiladi. Har soniyada 30 ta yangi kadr bilan (50-Hz kuchlanishli mamlakatlarda 25 kadr) televizor ekranida „harakatlanuvchi rasm“ ko'rsatiladi. (Eslatma: lentadagi tijorat kinofilmlar soniyasiga 24 kadr ga ega.)

+ jami 525 chiziq, ammo faqat 480 tasi tasvirni hosil qiladi, qolgan 45 chiziq sinxronizatsiya kabi boshqa ma'lumotlarni mujassam etadi. Chiziqlar tutashgan bo'ladi: ya'ni har 1/60 s da boshqa chiziq ko'rsatiladi va keyingi 1/60 s da oraliq chiziqlar ko'rsatiladi.

Yassi ekranlar va adres piksellari

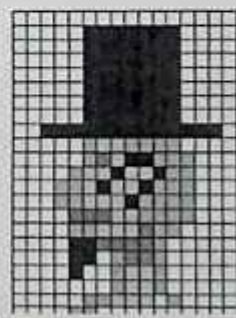
Bugungi yassi ekranlar millionlab kichik tasvir elementlaridan, yoki piksellardan iborat. Har bir piksel 3 ta, qizil, yashil va ko'k ostpiksellardan tashkil



3.17-rasm. Ikkita oddiy LCD ekranlarning yaqindan ko'rinishi. Siz hatto o'ng tarafdagi ekranda simlar va tranzistorlarni ko'rishingiz mumkin

topgan. LCD ekran uchun umumiy joylashuvning yaqindan ko'rinishi 3.16-rasmda ko'rsatilgan. (LCD ekranda suyuq kristallar qanday ishlashi bo'limda keltirilgan.) Ostpiksellar shunchalik kichkinaki, oddiy ko'rish uzoqligida biz ularni ajrata olmaymiz va alohida qizil (R), yashil (G) va ko'k (B) ostpiksellar aralashib, uchta ostpikselning nisbiy yorqinligiga bog'liq ravishda deyarli ixtiyoriy rangni hosil qiladi. Suyuq

3.18-rasm. Juda ko'p kichik kvadratlar yoki piksellardan (tasvir elementlari) tashkil topgan tasvirga misol. Bu rasm kichik ajratuvchanlikka ega



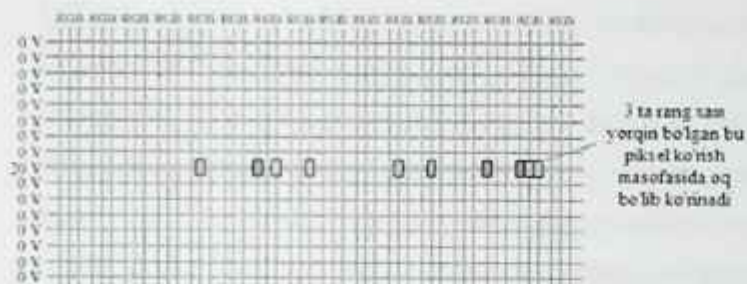
kristallar odatda fluorestscent lampalardan yoki yorug'lik chiqaruvchi diodlardan (LED, 29-9 bo'lim)+ kelayotgan oq yorug'likni filterlovchi filterlar sifatida ta'sir qiladi (R, G va B). Siz ekranda ko'radigan tasvir, 3.18 rasmda oddiy oq-qora tasvir uchun ko'rsatilganidek, har bir ostpikselning yorqinligiga bog'liq.

+ LEDlar 29-9 bo'limda muhokama qilingan. LED deb ataluvchi uy televizorlari odatda LED yoritkichli LCD ekranlarni nazarda tutadi. Uy televizorlari uchun ishlatila oladigan LED piksellarni tayyorlash juda murakkab, ammo amalda LED ekranlar juda katta displeylarda, masalan, stadionlarda ishlatiladi.

Yuqori sifatli (HD) televidenie ekranlari 1080 qatorli gorizontal piksellarga ega bo'lib, har bir qator ekran bo'ylab 1920 pikselga ega. Shuning uchun 1920 vertikal ustun bor bo'lib, piksellarning umumiy soni 2 millionga yaqin. Bugungi kunda AQSH da televidenie raqamli shaklda 60 Hz chastotada, ya'ni soniyasiga 60 ta kadrda (ko'plab mamlakatlarda 50 Hz) uzatiladi va bu "harakatlanuvchi tasvirni" hosil qiladi. Bitta kadri hosil qilish uchun har bir ostpiksel to'g'ri yorqinlikka ega bo'lishi lozim. Endi biz buni bajarishning bir yo'lini muhokama qilamiz.

Har bir LCD ostpikselining yorqinligi uning oldi va orqasi orasidagi kuchlanishga bog'liq: agar bu ΔV kuchlanish nolga teng bo'lsa, ostpiksel o'zining maksimal yorqinligida; agar ΔV o'zining maksimum qiymatida (+5 Volt) bo'lsa, bu ostpiksel qorong'i bo'ladi.

To'g'ri kuchlanish berish (to'g'ri yorqinlikni ta'minlash uchun) ostpikselni adreslash deb aytiladi. Odatda, ostpikselning old tomoni +5 V kabi musbat kuchlanishda ushlab turiladi. Displeyning orqasida har bir ostpikseldagi kuchlanish 1080 gorizontal simlar (satrlar) va 1920×3 (ranglar) ≈ 6000 vertikal simlar (ustunlar) kesishgan joyiga uzatiladi. Simlar massivi yoki matrisasi ko'rsatilgan 3-18-rasmga qarang. Bitta vertikal va bitta gorizontal simning har bir kesishish nuqtasi bitta ostpiksel ortida yotadi. Har soniyada ko'plab kadrlar ko'rsatilgani tufayli, signal kuchlanishlari impuls kabi qisqa bo'ladi



3.19-rasm. LCD ekran barcha piksellari ortidagi simlar massivi (matrisa). Ikki simning har bir kesishish nuqtasida bitta ostpiksel bor (qizil, yashil, yoki ko'k). Bir vaqtda bitta gorizontaal sim aktivlashtiriladi (zarg'aldoq rangda ko'rsatilgan) va u musbat kuchlanishga (+20 V) ega bo'lib, piksellarning bitta qatori shu onda adreslanishini bildiradi; qolgan barcha gorizontaal simlar 0 V ga ega. Bu paytda ma'lumotlar oqimi barcha vertikal simlarga kerakli kuchlanishni (0 va 5 V oralig'ida) beradi va aktivlashtirilgan qatordagi 6000 taga yaqin ostpikselda to'g'ri yorqinlikni hosil qiladi.

Displayga kelgan videosignal bir vaqtda faqat bitta gorizontaal simni aktivlashtiradi (3.19-rasmda zarg'aldoq rangda): bir gorizontaal sim kuchlanishga ega (deylik +20 V), qolgan barchasi esa 0 V ga ega. Bu 20 V to'g'ridan to'g'ri piksellarga ta'sir qilmaydi, biroq vertikal simlardan qisqa vaqt davomida "signal kuchlanishini" shu qatordagi har bir ostpikselga (tranzistor orqali, quyida berilgan) uzatilishiga ruxsat beradi. Ma'lumot oqimi nomiga ega bu signal kuchlanishlari o'sha bitta qator aktivlashtirilganda barcha vertikal simlarga uzatiladi: ular o'sha aktivlashtirilgan qatordagi har bir ostpikselga to'g'ri yorqinlik beradi. 3.19-rasmda bir necha ostpiksellar belgilab qo'yilgan. Shu zahotiyoy, boshqa qatorlar ham to'liq kadr hosil bo'lmagunicha (1/60 s da) birma bir aktivlashtiriladi.

Keyin esa yangi kadr boshlanadi. Har bir kadrda har bir qator uchun ostpiksellarning adreslanishi KNT dagi, 3.19-rasm, elektron nur harakati bilan bir xil maqsadda bajariladi.

Aktiv matrisa (ilg'or)

Yuqori sifatli displeylar aktiv matrisani ishlatadi, ya'ni har bir ostpiksel orqasidagi chegarasiga ingichka yupqa-plyonkali tranzistor (TFT) mahkamlangan bo'ladi.

(Tranzistorlar 29-10-bo'limda muhokama qilingan.) "Istok" deb ataluvchi har bir TFT ning bir elektrodi shu ostpikselni adreslovchi vertikal simga ulangan, 3.18-rasm, va "stok" elektrod ostpikselning orqasiga ulangan. Ostpikselga xizmat ko'rsatuvchi gorizontaal sim tranzistorning zatvorelektrodiga ulangan bo'ladi. Zatvor kuchlanishi zaryadni tortishi yoki tortmasligi bilan yoqib o'chiruvchi qurilma sifatida ishlab, istok kuchlanishini stokka va ostpikselning ortiga (uning oldi $+5\text{ V}$ da ushlab turiladi) ulash yoki undan uzish vazifasini bajaradi. Ostpiksel bo'ylab ΔV potensiallar farqi o'sha ostpiksel rangi yorqin $\Delta V = 0$, qora ($\Delta V = \text{maksimal}$), yoki ular orasidagi qiymatga ega bo'lishini belgilaydi. 3.19-rasmga qarang. Bir aktivlashtirilgan gorizontaal sim (17-33-rasmdagi zarg'aldoq rangli) bo'ylab barcha ostpiksel TFT lari zatvorda $+20\text{ V}$ ga ega bo'ladi: TFT lar ulagich kabi "yoqilgan" bo'ladi. Bu esa elektr zaryadi oqib, har bir TFT istokidagi vertikal sim signal kuchlanishini o'zining stokiga va ostpiksel orqasiga ulaydi. Shuning uchun bir qatordagi barcha ostpiksellar kadrning o'sha chizig'ida kerakli yorqinlikka erishadi.



3.20-rasm. Yupqa-plyonkali tranzistor. Har bir ekran ostpikseliga bittadan ulangan

Ostpiksel elektronikasida elektr sig'im mavjud bo'lib, u ostpiksel $1/60\text{ s}$ dan keyin ($\approx 17\text{ ms}$) yangi signal bilan keyingi kadr uchun yangilanguncha ΔV kuchlanishni ushlab turadi. 17-33-rasmda ko'rsatilgan zarg'aldoq rangli qatordan pastdagi qator taxminan 15 ? ? s dan keyin $[(1/60\text{ s})(1/1080\text{ chiziq})]$ aktivlashtiriladi. 6000 ta vertikal simlar (ma'lumot chiziqlari) keyingi qatorda har bir ostpiksel yorqinligini o'rnatish maqsadida har bir qator aktivlashtirilishidan oldin o'zlarining signal kuchlanishini (ma'lumotlar oqimini) yangilaydi. O'sha kadrga yakunlash uchun barcha 1080 ta qator $1/60\text{ s}$ da ($\approx 17\text{ ms}$) birma-bir aktivlashtiriladi. Keyin yangi kadr boshlanadi.

. Ostpiksel oldi +5 V ga ega. Agar TFT zatvori 20 V ga ega bo'lsa (gorizontal sim



aktivlashtirilgan), ma'lumot oqim kuchlanishi ostpiksel ortiga qo'yiladi va o'sha ostpikseldning yorqinligini belgilaydi. Agar zatvor 0 V da bo'lsa (gorizontal sim aktivlashtirilmagan), TFT "o'chgan" bo'ladi: zaryad oqib o'tmaydi va sig'im ΔV ni $1/60$ s dan keyin ostpiksel

yangilanguncha saqlab turadi.

3.21-rasm. Dielektriklarning qutblanishi

Hozirgi kunda yangi televizorlar yuqoriroq tezlikda ekranni tez tez yangilashi mumkin. 120 Hz (yoki 240 Hz) ga teng yangilanish tezligi kadrlar oddiy kadrlar orasida interpolyatsiyalanib, o'rtachalanib, tez harakat sahnalarida kamroq uzilishlarni hosil qiladi.

Raqamli televidenie, o'tilganidek, taxminan 19 MB/s tezlikda uzatiladi. (Bu tezlik har $1/60$ s da to'liq yangilash uchun juda sekinlik qiladi – hisoblashlarni bajaring va ko'ring – shunday qilib ko'plab siqishlar bajariladi va ko'plab harakatlar bajariladigan sohalar yangilanadi.) Raqamli videosignalni qabul qiluvchi televizor yoki "quti" ekran piksellariga analog signalni yuborishi uchun signalni to'g'ri vaqtda dekodlashi kerak. AQShda televideniya stansiyalari HD formatda ko'rsatuv olib borishi 1080×1920 piksellar yoki 720×1280 , yoki standart format (SD) 480×704 piksellarda olib borishiga ruxsat etilgan.

[Siz televidenie uchun 1080p yoki 1080i ni ko'rganingizda, "p" progressiv ma'nosida, ya'ni to'liq kadr $1/60$ s da hosil qilinishini bildiradi, yuqorida aytib o'tilganidek. "i" belgisi ulangan ma'nosini bildiradi, ya'ni barcha toq qatorlar (tasvirning yarmi) $1/60$ s da bajarilib, keyin barcha juft qatorlar keyingi $1/60$ s da bajariladi, shunday qilib, to'liq tasvir soniyasiga 30 kadr yoki 30 Hz da hosil qilinadi va shuning uchun ma'lumotlar (yoki bitlar) tezligini kamaytirishga imkon beradi. Analog televidenie (AQSh) 480i bo'lgan.]

Ossilograflar

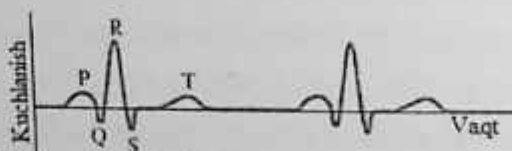
Ossilografbu elektr signalni kuchaytirish, o'lchash va vaqtning funksiyasi sifatida LCD yoki KNT monitorida, yoki kompyuter ekranida vizual ko'rsatuvchi qurilma.

Elektrokardiogramma (3,21-rasm) yoki nerv o'tkazuvchanligi tajribasidagi signal bo'lishi mumkin bo'lgan ekrandagi ko'rinuvchi "iz" signal kuchlanishining (vertikal) vaqtga (gorizontal) bog'liqlik grafigidir. [KNT da elektron nur gorizontaal og'diruvchi plastinalar yordamida vaqt bo'yicha o'zgarmas tezlik bilan gorizontaal harakatlanadi, 3.18va 3.19 rasmlar. Ko'rsatiladigan signal (kuchaytirilganidan so'ng) vertikal og'diruvchi plastinalarga uzatiladi.]



3.22-rasm. Elektrokardiogramma (EKG) izining KNT da ko'rinishi

Har safar yurak urganida, elektr potentsiali o'zgarishi uning sirtida ro'y berib, teriga birlashtirilgan elektrodlar (metall kontaktlar) yordamida uni aniqlash mumkin. Potentsialdagi o'zgarishlar juda kichik, millivoltlar (mV) tartibida va kuchaytirilishi lozim. Ular qog'ozda yozib olinib, yoki monitorda (KNT yoki LCD) ko'rsatilishi mumkin, 3.22-rasm. Elektrokardiogramma (EKG) bu biror inson yuragining potentsial o'zgarishlari yozib olinganidir. 3.22-rasmda bunga misol ko'rsatilgan. Biz bu potentsiallar o'zgarishi istoki va ularning yurak faolligiga bog'liqligini ko'ramiz.



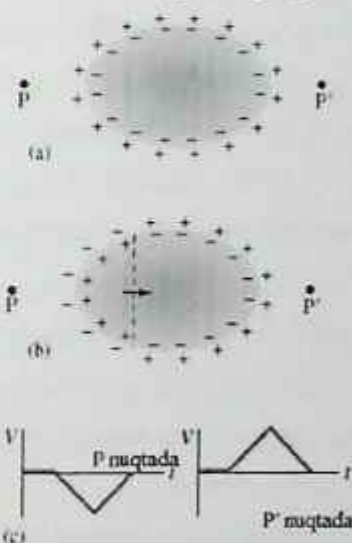
3.23-rasm. Oddiy EKG. Ikkita yurak urishi ko'rsatilgan

Muskuil va nerv hujayralarining ikkalasi ham hujayra devorlari bo'ylab elektr dipol qatlamiga ega. Shuning uchun oddiy holatda tashqi sirtida musbet to'liq zaryad, ichki sirtida esa manfiy to'liq zaryad mavjud, 3,23 rasm. Zaryadning miqdori hujayra o'lchamiga bog'liq bo'ladi, ammo taxminan 10^{-3} C/m^2 ga teng. Sirt yuzasi 10^{-5} m^2 bo'lgan hujayra uchun biror sirtidagi to'liq zaryad $\approx 10^{-8} \text{ C}$ ga teng. Yurak

muskullarining qisqarishidan sal oldin, hujayra devorlarida o'zgarishlar ro'y beradiki, hujayra tashqarisidagi musbat ionlar devor orqali o'ta oladi va ichkaridagi zaryadni neytrallashi, hatto tashqi sirtga nisbatan ichki sirtni biroz musbat ishorada zaryadlashi mumkin.

Bu "depolyarizasiya" hujayraning bir chetidan boshlanib, butun muskul depolyarizasiyalanmagunicha, 3.23-rasmda strelka bilan ko'rsatilganidek, qarama-qarshi chetigacha tarqaladi; keyin esa muskul yana polyarizatsiyalanib oldingi holatiga qaytadi (3.23 rasm), va buning barchasi bir soniyadan kam vaqtda sodir bo'ladi. depolyarizasiya hujayra bo'ylab tarqalganida P va P' nuqtalarda (hujayraning ikki tarafida) V potensialning vaqtga bog'liqlik grafigini ko'rsatadi. Depolyarizasiya yo'li butun yurak bo'ylab juda murakkab bo'lib, vaqtning funksiyasi sifatida murakkab potensiallar farqini hosil qiladi, Odatiy elektrokardiogrammani har xil og'ishlarga (yoki "to'lqinlarga") ajratish bu standart jarayon bo'lib, ko'rsatilgan. Har bir og'ish yurak urishining ma'lum qismi aktiv bo'lganiga mos keladi (). P to'lqin arterianing qisqarishiga mos keladi. QRS gruppasi yurak qorinchasi qisqarishiga mos kelib, depolyarizasiya juda murakkab yo'l bo'ylab kechadi. T to'lqin keyingi siklga tayyorgarlikda yurakning qayta tiklanishiga (repolyarizasiyaga) mos keladi.

EKG yurak kamchiliklarini identifikatsiyalashda kuchli jihoz hisoblanadi. Masalan, agar o'ng yurak qorinchasi noodatiy katta yukni itarishi kerak bo'lganda (qon tomirlari qotib yoki to'silib qolganida) yurakning o'ng tomoni kengayadi. Bu muammo tayyor EKG da kuzatiladi, chunki S to'lqin juda katta (manfiy) bo'lib qoladi. Infarktlar, bular yurak muskullarining o'lgan qismlari bo'lib, yurak xurujlari natijasida hosil bo'ladi va ular ham EKG da aniqlanadi, chunki ular depolyarizatsiya to'lqinini qaytaradi.



3.24-rasm. Yurak muskul hujayrasi (a) tinch holatdagi zaryad dipol qatlami; (b) muskul qisqara boshlaganida hujayra depolyarizasiyasining tarqalishi; (c) P va P' nuqtalardagi potensialning vaqtga bog'liqligi.

Xulosa

Fazoning biror nuqtasidagi elektr potensial V birlik zaryadga to'g'ri keluvchi elektr potensial energiyasi sifatida aniqlanadi:

$$V_a = PE_a/q$$

Ikki nuqta orasidagi elektr potensiallar farqi o'sha ikki nuqta orasida 1 C elektr zaryadini ko'chirishda bajarilgan ish sifatida aniqlanadi. Potensiallar farqi voltlarda o'lchanadi ($1 \text{ V} = 1 \text{ J/C}$) va ko'pincha kuchlanish deb ham yuritiladi.

q zaryad V_{ba} potensiallar farqidan o'tganda potensial energiyaning o'zgarishi

$$\Delta PE = q V_{ba}$$

E bir jinsli elektr maydon mavjud bo'lgan joyda ikkita a va b nuqtalar orasidagi V_{ba} potensiallar farqi

$V_{ba} = -E d$ orqali beriladi, bunda d – ikki nuqta orasidagi masofa.

Ekvipotensial chiziq yoki sirtning hamma nuqtalari bir xil potensialga ega va barcha nuqtada elektr maydoniga perpendikulyardir.

Yakka nuqtaviy Q zaryad tomonidan hosil qilingan P nuqtadagi potensial, cheksizlikdagi nolga teng bo'lgan potensialga nisbatan

$$V = kQ/r$$

orqali berilgan, bunda r Q zaryaddan p nuqttagacha bo'lgan masofa va $k = 1/(4\pi\epsilon_0)$.

[Elektr dipol tomonidan hosil qilingan potensial sifatida kamayadi. Dipol momenti $p = Ql$ ga teng, bu yerda l bir xil ammo qarama qarshi ishorali Q zaryadlar orasidagi masofa.]

Kondensator zaryadni (elektr energiyasini) saqlash uchun ishlatiladigan qurilmadir va ikkita bir biriga tegmaydigan o'tkazgichdan iborat. Ikkita o'tkazgichbir xil, ammo qarama qarshi ishorali Q qiymatli zaryadga ega. Bu Q zaryadning o'tkazgichlar orasidagi V potensiallar farqiga nisbati sig'im C deyiladi:

$$C = Q/V, \text{ yoki } Q = CV.$$

Parallel plastinali kondensatorning sig'imi har bir plastina yuzasi A ga to'g'ri proporsional va ular orasidagi masofa d ga teskari proporsional:

$$C = \epsilon_0 A/d$$

Ikkita o'tkazgich orasidagi fazo havo, qog'oz yoki plastik kabi tok o'tkazmaydigan materialdan iborat. Bu materiallar dielektriklar deb yuritiladi va sig'im dielektriklarning dielektrik singdiruvchanligi K (havo uchun 1 ga teng) deb ataluvchi xossasiga proporsional.

Zaryadlangan kondensator quyidagicha elektr energiyasini saqlaydi

$$PE = \frac{1}{2} QV = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}.$$

Bu energiya plastinalar orasidagi elektr maydonda jamlangan deb faraz qilsa bo'ladi.

Biror E elektr maydonida jamlangan energiyaning zichligi

$$\frac{\text{electric PE}}{\text{volume}} = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2.$$

Raqamli elektronika analog signal kuchlanishini ikkilik kodga asoslangan taxminiy raqamli kuchlanishga aylantiradi: har bir bit ikkita qiymatga ega, 1 yoki 0 (ya'ni "yoniq" yoki "o'chik"). 1101 ikkilik soni 13 ga teng. Bayt bu 8 bitga teng va kuchlanish darajalarini bera oladi. Nusxalash tezligi bu analog signalda bir soniyadagi kuchlanish o'lchashlarining soni. Bit chuqurligi bu har bir nusxalashdagi bor bo'lgan raqamli kuchlanish satxlarining soni. CD lar 44,1 kHz, 16-bit.

[Televizor va kompyuter monitorlarda odatda elektronlarni yuqori kuchlanish yordamida tezlatib, ularni magnit o'ramlar yoki elektrik og'diruvchi plastinalar yordamida ekran bo'ylab harakatlantiradigan katod nurli trubka (KNT) ishlatiladi. LCD yassi ekranlar millionta piksellardan iborat, ularning har biri qizil, yashil va ko'k ostpiksellardan iborat va ularning yorqinligi har 1/60 s da gorizonta va vertika simlar yordamida raqamli (ikkilik) kod yordamida adreslanadi.]

[Elektrokardiogramma (EKG) hujayralar depolyarizatsiyasi va repolyarizatsiyasida har yurak urishida potensial o'zgarishini yozib boradi.]

Nazorat savollari

1. Agar ikkita nuqta bir xil potensialga ega bo'lsa, sinov zaryadini bu bir nuqtadan ikkinchi nuqtaga ko'chirganda to'liq ish bajarilmasligini bildiradimi? Bu kuch ta'sir qilmasligini bildiradimi? Tushuntiring.
2. Agar manfiy zaryad elektr maydonda dastlab tinch turgan bo'lsa, u yuqoriroq potensial tomon harakatga keladimi yoki kamroq potensial tomonigami? Musbat

zaryad-chi? Har bir lahzada zaryadning potensial energiyasi qanday o'zgaradi? Tushuntiring.

3. (a) Elektr potensial va elektr maydon kuchlanganligi, (b) elektr potensial va elektr potensial energiyalar orasidagi farqni aniq tushuntiring.

4. Elektron tinch holatdan 0,20 V potenciallar farqi tomonidan tezlashtirildi. Agar u 4 barobar katta kuchlanishda tezlatilsa, uning oxirgi tezligi necha barobar katta bo'ladi? Tushuntiring.

5. Ikkita bir xil musbat zaryadlarni tutashtiruvchi chiziqli elektr maydon nolga teng bo'ladigan nuqta bormi? Elektr potensial qayerda nolga teng? Tushuntiring.

6. Zarracha kichik elektr potensialga ega sohadan katta potensialga ega sohaga o'tganida elektr potensial energiyasi ortishi mumkinmi? Tushuntiring.

7. Agar, fazodagi nuqtada $V=0$ bo'lsa, $\vec{E}=0$ bo'lishi shartmi? Agar biror nuqtada $\vec{E}=0$ bo'lsa, shu nuqtada $V=0$ bo'lishi shartmi? Tushuntiring. Har biriga misol keltiring.

8. Ikkita ekvipotensial chiziqlar kesishishi mumkinmi? Tushuntiring.

9. 16-32b va c rasmlarda bir necha ekvipotensial chiziqlarni chizing.

10. Batareyka kondensatorga ulanganida nima uchun ikkala plastinada bir xil qiymatli zaryad to'planadi? Agar ikkala plastina turli shakl va o'lchamga ega bo'lsa ham bu o'rinli bo'ladimi?

11. O'tkazuvchi sfera Q zaryadga ega va ikkinchi xuddi shunday sfera neytral. Dastlab ular izolyatsiyalangan edi, keyin ular bir biriga tekkizildi. (a) Ular bir-biriga tekkizilganida potensial haqida nima deya olasiz? (b) Zaryad ularning biridan ikkinchisiga o'tadimi? Agar shunday bo'lsa, qancha zaryad o'tadi?

12. Izolyatsiyalangan kondensatorning parallel plastinalari qarama-qarshi Q zaryadga ega. Agar plastinalar orasidagi masofa oshirilsa, buni bajarish uchun kuch talab qilinadimi? Potensiallar farqi o'zgaradimi? Tortish jarayonida bajarilgan ish qanday bo'ladi?

13. Agar $\vec{E}$ elektr maydon biror sohada bir jinsli bo'lsa, elektr potensial V to'g'risida nima deya olasiz? Agar V fazoning biror sohasida bir jinsli bo'lsa $\vec{E}$ haqida nima deya olasiz?

14. Ikkita izolyatsiyalangan har xil ishorali zaryadlarning potensial energiyasi musbatmi yoki manfiymi? Ikkita bir xil ishorali zaryadlarning-chi? Har bir holda zaryadlar ishorasining ahamiyati qanday?

15. Agar mahkamlangan kondensator kuchlanishi ikki barobar oshirilsa, undagi energiya miqdori (a) ikki barobar oshadi, (b) ikki barobar kamayadi, (c) to'rt barobar oshadi, (d) o'zgarmaydi, (e) bularning hech biri. Tushuntiring.

16. Kondensatorga dielektrik kiritilayotganda undagi energiya qanday o'zgaradi, agar (a) kondensator izolyatsiyalangan bo'lsa, ya'ni undagi Q zaryad o'zgarmasa; (b) kondensator batareyaga ulanib, undagi V o'zgarmasa? Tushuntiring.

17. Batareyaga ulanib turgan kondensatordan dielektrik tortib chiqarildi. (a) Sig'im, (b) plastinalardagi zaryad, (c) potentsiallar farqi, (d) kondensatordagi energiya va (e) elektr maydon qanday o'zgaradi? Javoblaringizni tushuntiring.

18. Bir kondensatorning C sig'imi ikkita o'tkazgich o'lchamiga va ularning joylashuviga, hamda K dielektrik singdiruvchanlikka bog'liqligini ko'rdik. 17-7 tenglamada biz C o'zgarmas deganimizda nimani nazarda tutgan edik

4-§. O'zgarmas tok qonunlari

Reja:

1. O'tkazgichlardagi elektr toki.
2. Om va Joul-Lens qonunlarining differentsial va integral ko'rinishlari.
3. Kirxgof qoidalari.

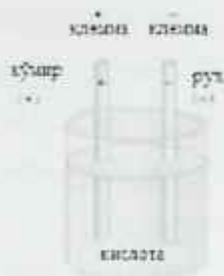
Mavzular mazmuni: O'tkazgichlardagi elektr toki. Elektr tokining mavjud bo'lish shartlari. Metallar elektr o'tkazuvchanligining klassik nazariyasi. Om va Joul-Lens qonunlarining differentsial va integral ko'rinishlari. Tashqi kuchlar. Elektr yurituvchi kuch (EYuK). Bir jinsli bo'lmagan zanjir uchun Om qonuni. Kirxgof qoidalari.

Tayanch iboralar: elektr toki, Om va Joul-Lens qonunlari, elektr yurituvchi kuch, Kirxgof qoidalari.

Keyinchalik ma'lum bo'ldiki Volta ixtiro qilgan elektr batareyasida kimyoviy energiyaning elektr energiyasiga aylanishidan tok hosil bo'lar ekan.

Hozirgi vaqtda judayam ko'p elektr elementlari va batareyalar yasali b ishlab chiqarishga, har xil korxonalar va o'quv muassasalariga tarqatilm oqda. Batareyalarning turlari ko'p, cho'ntak fonarining batareyasidan tortib to avtomobillarning akkumulyator batareyalarigacha. Eng sodda bataerya (galvanik element) ikkita elektrodan, ya'ni har xil metallardan yasalgan ustunchalardan iborat. (ustunchalardan ya'ni elektrodlardan birini ko'mirdan yasash mumkin). Elektrodlar elektrolitga masalana aralashmali kislotaga botirilgan bo'ladi. Quruq elementlarda elektrolitlar xolodetsga o'xshagan bo'ladi. O'zaro bog'langan bir nechta elementlar batareyani hosil qiladi. Ko'pchilik elementlarda sodir bo'ladigan kimyoviy reaksiyalar qiyin kechadigan reaksiyalardir. Bu reaksiyalarni kimyo darslaridan topib tushunsa bo'ladi. Lekin biz elementlarning fizikasini tushuntirib beramiz.

Eng sodda galvanik element (Rasm- 4,1) ni ko'ramiz. Bunda elektrolit sifatida suyultirilgan sernaya kislot a foydalaniladi. Elektrodleri biri ko'mirdan ikkinchisi ruxdan yasalgan.



4.1-rasm. Eng sodda galvanik element

Elektrodlarning elektrolitga botirilmagan qismi klemmlar rolini bajaradi. Bu klemmalarga simlar ulanib, simlar galvanik elementni sxemaga ulaydi. Kislota rux elektrodni sekin – asta eritadi. Rux elektrodning atomlari ikkitadan elektronni elektrodlarda qoldirib musbat ion tarzida elektrolitga o'tadi. Buning natijasida rux elektrod manfiy zaryadlanib qoladi. Elektrolit esa rux unga o'tganligi uchun musbat zaryadlanadi. Buning natijasida va har xil kimyoviy reaksiyalar natijasida ko'mir elektrod musbat zaryadlanib qoladi. Musbat zaryadlangan elektrod anod, manfiy zaryadlangan elektrod katod deb ataladi.

Anod va katod orasida potentsiallar farqi hosil bo'ladi. Agar klemmlar bir – biri bilan o'tkazgich bilan ulansa u holda klemmlar orasida zaryadlar oqimi hosil bo'ladi, ruxning emirilishi kuchayadi. Xuddi shuningdek ko'mir elektrod ham buzila boshlaydi. Ma'lum bir vaqtdan keyin elektrodlardan biri butunlay sarflanib bo'ladi va element o'tiradi.

Klemmlar orasidagi kuchlanish elektrodning qanday moddadan yasalganligiga bog'liq va ularning aralashmaga o'tish hamda aralashmaga elektronlar berish qobiliyatiga bog'liq. Tashqi zanjir ochiq vaqtdagi batareya klemmlaridagi potentsiallar farqi elektr yurituvchi kuch E.YU.K. deb ataladi. E.YU.K. ϵ harfi bilan belgilanadi. Odatda oddiy galvanik elementning E.YU.K. si 1,0 – 2,0 V bo'ladi. Galvanik elementlar ketma – ket ulanganda ularning E.YU.K. lari qo'shiladi. Xuddi shu galvanik elementlarga asosan elektr batarelar yasalgan. (Rasm 18-4 a,v) da elektr batareya ko'rsatilgan.



4.2-rasm.

Yuqoridagi batareya (4.2-rasm) ko'mir va rux elektrodlaridan iborat bo'lib, ko'mir elektrod musbat zaryadlangan, rux elektrod manfiy zaryadga ega. (Rasm 4.2) da ikkita batareya ketma – ket ulangan.

(4,2-rasm) da oddiy lampochka tasvirlangan. U batareyaga ulanganda cho'lg'amdan zaryad oqib o'tadi va cho'lg'am isib, cho'g'ga aylanadi va yorug'lik hosil bo'ladi.



4.3-rasm. O'zgaras tok. Tokning kuchi va zichligi

Elektr tok deganda zaryadlangan zarralarning tartibli xarakati tushuniladi. "Tok" so'zining o'zbek tiliga aynan tarjimasi "oqim" dir. Demak, elektr tok – elektr zaryadlarning oqimidir. Elektr tokning asosiy belgisi – xarakatdagi zaryadlar tufayli paydo bo'luvchi magnit maydonning mavjudligidir. Bundan tashqari elektr tok modda orqali o'tganda issiklik, optik va ximiyaviy xodisalar kuzatiladi.

O'tkazgichlardagi elektr tokni o'tkazuvchanlik toki deb ataladi. Lekin elektr tokni bunday tor ma'noda tushunish kerak emas. Masalan, biror zaryadlangan jism fazoning bir nuqtasidan ikkinchi nuqtasiga ko'chirilayotgan bo'lsin. Bu jism bilan

birgalikda undagi zaryad xam fazoning bir nuqtasidan ikkinchi nuqtasi tomon xarakat qiladi. Demak, elektr tok vujudga keladi. Lekin bu tok zaryadlangan jismning xarakati bilan bog'lik. Bunday tokni boshqa turdagi toklardan farq qilish maqsadida konveksion tok deb ataymiz.

Elektr tokning yunalishi sifatida musbat zaryadlarning tartibli xarakat yunalishi qabul kilingan. Elektr tokni xarakterlovchi asosiy kattalik – tok kuchidir. Kuzatilayotgan biror S yuz orqali o'tuvchi elektr tokning kuchi deganda, shu yuz orqali birlik vakt ichida o'tayotgan zaryad miqdori bilan xarakterlanuvchi skalyar kattalik tushuniladi. Agar kuzatilayotgan yuz orqali dt vakt davomida dq zaryad o'tayotgan bo'lsa, bunday tokning kuchi

$$I=dq/dt \quad (4.1)$$

bo'ladi. Vakt o'tishi bilan tokning yunalishi va kuchi o'zgarmasa, bunday tokni o'zgarmas tok deyiladi. Zaryad tashuvchilarning xarakat yunalishiga perpendikulyar bo'lgan birlik yuzga mos keluvchi tok kuchiga tok zichligi deb ataladi:

$$j=I/S. \quad (4.2)$$

Tok zichligi musbat tok tashuvchilarning tartibli xarakati yunalishidagi vektor kattalik bo'lib, uning miqdori tok yunalishiga perpendikulyar bo'lgan birlik yuz orqali birlik vaktga okib o'tuvchi zaryad miqdori bilan xarakterlanadi. Agar tok ikkala ishorali zaryadlarning tartibli xarakati tufayli vujudga kelayotgan bo'lsa, tok zichligining ifodasini quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$j=q+n+v++q-n-v-, \quad (4.3)$$

bunda $q+$ va $q-$ – mos ravishda musbat va manfiy tok tashuvchilarning zaryad miqdorlari, $n+$ va $n-$ – ularning konsentratsiyasi (ya'ni birlik hajmdagi soni), $v+$ va $v-$ esa ularning tartibli harakatidagi o'rtacha tezliklari.

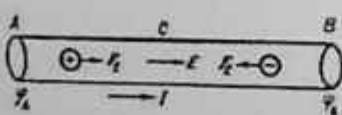
XBS da tok kuchining o'lchov birligi – amper (A) bo'lib, u asosiy birlik sifatida qabul kilingan. Bu birlik to'g'risida toklarning o'zaro ta'siri bilan tanishganda tuxtalamiz.

Tok zichligi birligi – amper taksim metr kvadrat (A/m^2) bo'lib, u kuchi 1 A bo'lgan elektr tok o'tkazgichning 1 m^2 kundalang kesimi bo'yicha tekis taksimlangan xoldagi tok zichligini ifodalaydi.

Elektr yurituvchi kuch va kuchlanish

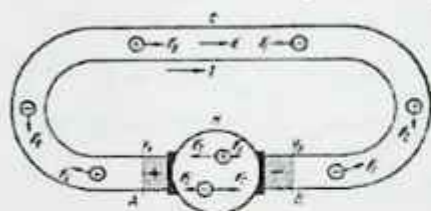
Biror o'tkazgichning (1-rasm) A uchida ortiqcha musbat zaryad, B uchida esa ortiqcha manfiy zaryad mavjud bo'lsa, bu o'tkazgich buylab uning potentsiali yuqorirok (φ_A) qismidan potentsiali pastrok (φ_B) qismi tomon yunalgan elektr maydon vujudga keladi. Bu maydon kuchlari ta'sirida musbat zaryadlar A dan B ga karab, manfiy zaryadlar esa B dan A ga karab tartibli xarakatga keladi, ya'ni o'tkazgich buylab elektr tok utadi. Natijada karama-karshi ishorali zaryadlarning birlashuvi va o'tkazgich barcha nuqtalari potentsiallarining tenglashuvi sodir bo'ladi. Bu esa o'tkazgichda elektr maydonning yunalishiga va elektr tokning tuxtashiga sabab bo'ladi.

O'tkazgichda o'zluksiz ravishda elektr tok mavjud bo'lishi uchun bu o'tkazgichni o'z ichiga olgan berk zanjirda shunday maxsus qurilma (2-rasmda M deb belgilangan ishlab turishi kerakki, bu qurilma muntazam ravishda karama-karshi ishorali zaryadlarni ajratib turishi va o'tkazgichning A uchini musbat zaryad bilan, B uchini esa manfiy zaryad bilan doimiy ravishda ta'minlab turishi kerak. Natijada, o'tkazgich uchlarida xar doim potentsiallar farqi mavjud bo'lib, o'zluksiz elektr tok vujudga kelishiga sharoit yaratilgan bo'ladi. Bunday qurilmani elektr tokning manbai deyiladi. Tok manbaida zaryadlarning ajralishi biror kuch ta'sirida sodir bo'ladi albatta. Lekin bu kuch elektrostatik xarakterga ega emas, chunki elektrostatik kuch ta'sirida zaryadlar ajralmaydi, aksincha birlashadi (masalan, 2-rasmdagi tok zanjirining ACB qismida). Bu kuchni tashqi kuch deb atash odat bo'lgan. Elektr zaryadlarni ajratish va ko'chirish uchun tashqi kuchlar bajargan ish tok manbai energiyasining sarflanishi xisobiga (masalan, generator rotorni aylantirish uchun sarf bo'layotgan mexanik ish xisobiga yoki akkumulyator va galvanik elementlarda elektrodning elektrolitlarda erishi jarayonida ajralib chiqadigan energiya xisobiga va xokazo) sodir bo'ladi.



4.4-Rasm

Demak, berk zanjirning BMA qismida, ya'ni tok manbai (M) ning ichida boshqa turdagi (masalan, mexanik yoki ximiyaviy) energiyalar xisobiga elektr energiya olinadi. Zanjirning ACB qismida esa elektr energiya sarflanadi, ya'ni boshqa turdagi energiyalarga aylanadi. Berk zanjirda zaryadga xam tashqi kuchlar, xam elektr maydon kuchlari ta'sir etadi. Ammo elektr maydonning q zaryadni berk zanjir buylab ko'chirishda bajargan umumiy ishi nolga teng. SHuning uchun berk zanjirda bajarilgan umumiy ish faqat tashqi kuchlar manbaining energiyasi xisobiga tok manbai ichida sodir bo'ladi. 2-rasmdagi berk zanjir buylab q zaryadni



4.5-rasm

ko'chirishda tashqi kuchlar AT ish bajargan bo'lsa, u xolda

$$AT/q = \epsilon \quad (4.4)$$

kattalik tok manbaining elektr yurituvchi kuchi deyiladi. Boshqacha qilib aytganda, tok manbaining elektr yurituvchi kuchi tashqi kuchlar ta'sirida birlik musbat zaryadni manbani o'z ichiga olgan berk zanjir buylab ko'chirishda bajarilgan ish bilan xarakterlanadi. (4) ifodadan elektr yurituvchi kuch (kiskacha EYK) potentsial o'lchov birliklarida ulchanadi, degan xulosaga kelamiz, chunki potentsial xam birlik zaryadni ko'chirishda bajarilgan ish bilan xarakterlanar edi.

Demak, XBS da EYK birligi qilib volt (V) qabul qilinadi: 1 V – shunday tok manbaining elektr yurituvchi kuchi (EYK) ki, bu manbani o'z ichiga olgan berk zanjir buylab 1 Kl zaryadni ko'chirishda 1 J ish bajariladi. q zaryadga ta'sir etayotgan FT tashqi kuchni

$$FT = qET \quad (4.5)$$

ko'rinishda ifodalash mumkin. Bunda ET bilan tashqi kuchlar maydonining kuchlanganligi belgilandi. U xolda q zaryadni berk zanjir buylab ko'chirishda tashqi kuchlar bajargan ish

$$AT = \oint \vec{F}_r dl = q \oint \vec{E}_r dl$$

bo'ladi. Shuning uchun (4) ifodaga asoslanib

$$\varepsilon = AT/q \oint \vec{E}_r dl \quad (4.6)$$

munosabatni xosil kilamiz. Demak, berk zanjirda ta'sir etuvchi EYK ni tashqi kuchlar maydoni kuchlanganligi vektorining tsirkulyatsiyasi tarzida ifodalash mumkin.



4.6-rasm

Agar zanjirni o'zsak, ya'ni ACB o'tkazgichni olib tashlab ochiq zanjir xosil kilsak (4-rasm), tashqi kuchlar ta'sirida BMA qismda zaryadlarning kuchishi tufayli A nuqta musbat, B nuqta esa manfiy zaryadlar yigilib, bu nuqtalar orasida potentsiallar farqi vujudga keladi. A va B nuqtalar orasidagi potentsiallar farqi zaryadlarga ta'sir etuvchi elektr va tashqi kuchlar tenglashguncha ortib boradi. Bu kuchlar tenglashganda $\Delta\varphi = \varphi_A - \varphi_B$ maksimal qiymatga erishadi. Ochiq zanjirdagi tok manbaining EYK manbaining qutblaridagi potentsiallar farqiga teng:

$$\varepsilon = \varphi_A - \varphi_B. \quad (4.7)$$

Endi kuchlanish tushunchasi bilan tanishaylik. Elektrostatikada A va B nuqtalar orasidagi kuchlanish deganda A va B nuqtalardagi elektr maydon poteptsiallarining farqi tushunilar edi. Zanjirning BMA qismidagi kuchlanishning tushishi yoki oddiygina kuchlanish (U_{AB}) deganda Kulon (elektr) kuchlari va tashqi kuchlar, ya'ni $FE + FT = q(E + ET)$ ta'sirida birlik musbat zaryadni zanjir buylab A nuqtan B nuqtaga ko'chirishda bajarilishi lozim bo'ladigan ish bilan xarakterlanuvchi fizik kattalik tushuniladi:

$$U_{AB} = A_{AB}/q = \frac{1}{q} \left(\int_A^B \vec{F}_e d\vec{l} + \int_A^B \vec{F}_r d\vec{l} \right) = \int_A^B \vec{E} d\vec{l} + \int_A^B \vec{E}_r d\vec{l}$$

Kulon kuchlari ta'sirida birlik musbat zaryadni A dan B gacha ko'chirishda bajariladigan ish A va B nuqtalar potentsiallarining farqi $\varphi_A - \varphi_B$ ga teng. Tashqi kuchlar ta'sirida birlik musbat zaryadni zanjirning tekshirilayotgan qismida ko'chirishda bajarilgan ish zanjirning shu qismidagi manbaining elektr yurituvchi kuchi ε_{AB} ga teng. SHuning uchun

$$U_{AB} = (\varphi_A - \varphi_B) + \varepsilon_{AB}. \quad (4.8)$$

Demak, zanjirning tekshirilayotgan qismidi EYK ta'sir etmaydigan xususiy xolda (ya'ni $\varepsilon_{AB} = 0$ bo'lganda)

$$U_{AB} = (\varphi_A - \varphi_B)$$

bo'ladi.

Kuchlanish xam, xuddi EYK kabi, potentsialning birliklarida, ya'ni volt (V) da ulchanadi. Om qonuni va uning differentsial va integral ko'rinishi

Om qonuni zanjirning bir qismidan o'tayotgan tok kuchini shu qismning uchlaridagi kuchlanishga bog'likligini ifodalaydi. Agar zanjirning tekshirilayotgan qismida EYK ta'sir etmasa zanjirning bir jinsli qismi bilan, aksincha, EYK ta'sir etsa zanjirning bir jinsli bo'lmagan qismi bilan ish to'tayotgan bo'lamiz. Om qonuni tajribalar asosida



4.7-rasm

kashf etilgan qonundir. Uning to'g'riligi Ko'pgina tajribalar asosida isbotlandi. Bu qonunning mohiyati quyidagidan iborat: bir jinsli metall o'tkazgich orqali o'tayotgan elektr tokning kuchi ushbu o'tkazgichning uchlaridagi kuchlanishga to'g'ri proporsional:

$$I = U/R. \quad (4.7\text{-rasm})$$

Tok kuchining kuchlanishga bog'liklik $I=f(U)$ grafigi metall o'tkazgichlar uchun (4-7rasm) koordinata boshidan o'tuvchi to'g'ri chiziqdan iborat bo'lar ekan. Bu to'g'ri chiziqning U uki bilan xosil kilgan burchagi (9) ifodadagi R ga bog'lik. R – o'tkazgichning elektr qarshiligi, u zaryadlarning tartibli xarakatiga o'tkazgich ko'rsatadigan qarshilikni xarakterlaydi. O'tkazgich qarshiligining birligini (9) ifodadan foydalanib topish mumkin: ikki uchidagi kuchlanish 1 V bo'lganda 1 A tok utadigan o'tkazgichning elektr qarshiligi birligi sifatida qabul kilingan va o'nga 1 Om deb nom berilgan.

Elektr qarshilikka teskari bo'lgan $1/R$ – kattalikni elektro'tkazuvchanlik deb ataladi, uning o'lchov birligi simens (Sm): 1 Sm – elektr qarshiligi 1 Om bo'lgan o'tkazgichning elektr o'tkazuvchanligidir.

O'tkazgichning qarshiligi uning o'lchamlariga va ichki tuzilishiga bog'lik kattalik. Agar o'tkazgich tsilindrsimon shaklda bo'lsa, uning qarshiligi o'zunligi l ga to'g'ri va kundalang kesimi S ga teskari proporsionaldir:

$$R = \rho l/S, \quad (4.10)$$

bu erda ρ – o'tkazgichning solishtirma elektr qarshiligi. U o'tkazgich materialining ichki xususiyatlariga va tashqi sharoitlarga bog'lik. Solishtirma elektr qarshilikka teskari bo'lgan

$$\sigma = 1/\rho \quad (4.11)$$

kattalikni o'tkazgichning solishtirma elektr o'tkazuvchanligi deb ataladi.

Solishtirma elektr qarshilikning o'lchov birligi – Om-metr (Om-m): 1 Om-m – kundalang kesimi 1 m², uzunligi 1 m bo'lganda 1 Om elektr qarshilikka ega bo'ladigan o'tkazgichning solishtirma elektr qarshiligidir. O'tkazgich qarshiligi temperaturaga mos ravishda quyidagi qonuniyat bo'yicha o'zgaradi: $R = R_0(1 + \alpha t)$,

$$(4.12)$$

bundagi R_0 va R – mos ravishda 0°C va t°C va temperaturadagi qarshilikning qiymatlari; α – qarshilikning temperatura koeffitsienti, u 1 K ga isitilganda o'tkazgich qarshiligining nisbiy o'zgarishiga miqdoran teng kattalik, sof metallar uchup $\alpha \approx 1/273 \text{ grad}^{-1}$. Termodinamik temperatura T dan foydalanganda (4.12) munosabat quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$R = \alpha R_0 T. \quad (4.13)$$

Elektr zanjir o'zaro ulangan bir necha qarshiliklardan iborat bo'lishi mumkin. Elektr zanjirining $R_1, R_2, R_3, \dots$ qarshiliklar ketma-ket ulangan qismining umumiy qarshiligi ($R_{k\bar{k}}$) ayrim qarshiliklar yig'indisiga teng bo'ladi:

$$R_{k\bar{k}} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots \quad (4.14)$$

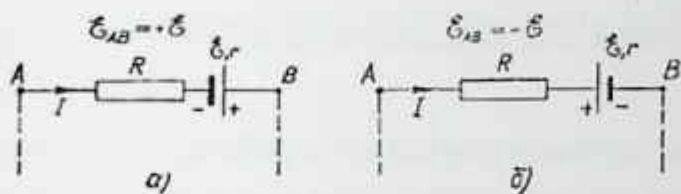
Qarshiliklari $R_1, R_2, R_3, \dots$ bo'lgan o'tkazgichlarni parallel ulash tufayli vujudga kelgan zanjir qismining umumiy qarshiligiga teskari miqdor ayrim qarshiliklarga teskari bo'lgan miqdorlar yig'indisiga teng:

$$1/R_{\text{par}} = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + \dots \quad (4.15)$$

Tabiiyki, R_{par} ning qiymati ayrim qarshiliklarning eng kichigidan ham kichiq bo'ladi. Endi, zanjirning bir jinsli bo'lmagan qismi uchun Om qonuni bilan tanishaylik. Bu holda kuchlanish $U_{AB} = (\varphi_A - \varphi_B) + \varepsilon_{AB}$ ifoda bo'yicha aniqlanar edi. Bundan tashqari, zanjirning umumiy elektr qarshiligi (R_{um}) ni hisoblayotganda tok manbaining ichki qarshiligi r ni ham hisobga olish kerak. Natijada zanjirning bir jinsli bo'lmagan qismi

uchun Om qonuni quyidagi ko'rinishda ifodalanadi: $I = U_{\text{um}} / R_{\text{um}} = (\varphi_A - \varphi_B + \mathcal{E}_{AB}) / (R + r)$.
(4.16)

Mazkur ifodada I va $\mathcal{E}_{AB}$ algebraik kattaliklar ekanligini nazarda to'tishimiz kerak. Tekshirilayotgan zanjir qismida $\varphi_A > \varphi_B$ bo'lsin (4.8-rasm). U holda tokning A dan B tomon yunalishini musbat deb, B dan A tomon yunalishini esa manfiy deb qabul



4.8-rasm

qilamiz. Shunga o'xshash $A \rightarrow B$ yo'nalishda ta'sir etuvchi EYK ni musbat, $B \rightarrow A$ yo'nalishdagini esa manfiy deb olamiz. (4.16) ifoda, odatda, Omning umumlashgan qonuni deb ham ataladi, chunki uni elektr zanjirning ixtiyoriy qismi uchun qo'llash mumkin.

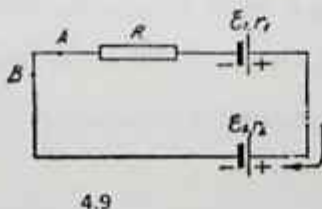
1. Zanjirning tekshirilayotgan qismida tok manbai bo'lmagan ($\mathcal{E}_{AB}=0$) holda zanjirning bir jinsli qismi uchun ta'alluqli (9) ga aylanadi.

2. ni berk zanjir uchun qo'llash maqsadida zanjirdagi A nuqtani (6-rasm) ko'zgatmasdan V nuqtani A nuqta bilan ustma-ust tushguncha zanjir buylab suraylik. U holda $\varphi_A - \varphi_B$ nolga teng bo'lib, berk zanjir uchun Om qonunining ifodasi quyidagi ko'rinishga keladi:

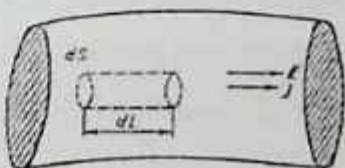
$$I = \mathcal{E} / (R + r), \quad (4.17)$$

bundagi $\mathcal{E}$ – berk zanjirdagi barcha EYK larning algebraik yig'indisi, $R+r$ esa zanjirdagi umumiy qarshilik. Om qonunini differentsial ko'rinishda yozish mumkin.

Buning uchun o'tkazgich ichida biror nuqtani tanlab olaylik. Bu nuqtagi tok zichligi j va elektr maydon kuchlanganligi E bo'lsin. Bu nuqta atrofida asosi dS ,



4.9



4.10-rasm

yasovchisining o'zunligi dl bo'lgan xayoliy elementar tsilindrni shunday ajrataylikki (4-rasm), bu tsilindrchaning yasovchilari j ga parallel bo'lsin. Bu silindrchaning ikki asosi orasidagi kuchlanish $U=Edl$, asosidan o'tayotgan tokning kuchi $I=jdS$. TSilindrchaning qarshiligi esa $R=\rho dl/dS$. Shuning uchun bu tsilindrchaga Om qonunini qo'llab, quyidagi ifodani yoza olamiz:

$$jdS=EdS/\rho. \quad (4.18)$$

Agar j va E vektorlarning yunalishlari bir xil ekanligini hisobga olsak,

$$j=E/\rho, \quad (4.19)$$

bo'ladi. O'tkazgich materialining solishtirma qarshiligi ρ ga teskari bo'lgan kattalikni, ya'ni $\sigma=1/\rho$ ni materialning solishtirma elektr o'tkazuvchanligi deb atagandik. Zero (19) ifoda quyidagi ko'rinishga keladi:

$$j=\sigma E. \quad (4.20)$$

Bu ifoda zanjirning bir jinsli qismi uchun Om qonunining differentsial ko'rinishidir. Agar zanjirning tekshirilayotgan qismi bir jinsli bo'lmasa, u holda zanjirda Kulon kuchlari bilan bir qatorda tashqi kuchlar ham ta'sir etayotgan bo'ladi. Shuning uchun zanjirning bir jinsli bo'lmagan qismi uchun Om qonunining differentsial ko'rinishi quyidagicha yoziladi:

$$j=\sigma(E+E_T), \quad (4.21)$$

bundagi E_T – zanjirning tekshirilayotgan qismidagi tok manbaida ta'sir etayotgan tashqi kuchlar maydonining kuchlanganligi.

Mikroskopik nuqtai nazaridan elektr toki

Ma'lumki tok bu zaryadlangan zarrachalarning tartibli harakati. metallarda tok tashuvchilar elektronlar suyuqliklarda musbat va manfiy ionlar, gazlarda ham ionlar, ham elektronlar.

Endi biz tokni mikroskopik nuqtai nazardan qaraymiz. Agar o'tkazgich uchlariga potensiallar farqi qo'yilgan bo'lsa, u holda $\vec{E}$ ya'ni kuchlanganlik vektori o'tkazgichning yon tomoniga parallel bo'ladi. (Rasm 18-24) da ko'rsatilgan.



Rasm 4.11

O'tkazgichdagi erkin elektronlar maydon ta'sirida tartibli harakatlana boshlaydi. Elektr toki tok zichligi j bilan xarakterlanadi. Tok zichligi j deganda, o'tkazgichning birlik kesim yuzasidan birlik vaqtga o'tadigan zaryad miqdori tushuniladi. Ya'ni:

$$J = \frac{Q}{t}; \quad j = \frac{J}{S} = \frac{Q}{ST}; \quad J = jS$$

Agar tok zichligi o'tkazgichning kesim yuzasida o'zgarsa, u xolda tok kuchi quyidagiga teng bo'ladi:

$$J = \int j \cdot ds$$

Tok zichligi vektor kattalik. Uning yo'nalishi istalgan nuqtadan, shu nuqtaga joylashtirilgan musbat sinish zaryadining yo'nalishi bilan bir xil

bo'ladi. Boshqacha so'z bilan aytganda $\vec{J}$ vektor istalgan nuqtada $\vec{E}$ vektor yo'nalishi bilan bir xil bo'ladi. (Rasm 4.11)

O'tkazgichning har bir nuqtasida tok zichligining qiymati ma'lum (aniq). Tok kuchi esa butun o'tkazgichga tegishli. SHuning uchun ham makroskopik kattalik hisoblanadi. Endi tok zichligini tezlik orqali ifodalaymiz.



Rasm 4.12

Rasm 4.12-rasm ga qarang. Ma'lumki birlik vaqtda bosib o'tilgan yo'l. Demak biz uzunlikni yoza olamiz:

$$l = v \cdot \Delta t$$

$$\text{Ma'lumki: } J = jS$$

Undan tashqari Δt vaqtda $V=S \cdot l$ hajmdagi barcha elektronlar simning S yuzasidan o'tadi. Demak:

$$\Delta Q = (n \cdot V)e = (nSV\Delta t)e$$

zaryad oqib o'tadi. U holda tok kuchi:

$$J = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{nSV\Delta t e}{\Delta t} = nSVe \quad \text{bo'ladi}$$

$$J = nSVe \quad (4.21)$$

Tokning ishi va quvvati. Kirxgof qoidalari

Zanjiming bir jinsli qismidagi U kuchlanish tufayli vujudga kelgan elektr maydon o'tkazgichning kundalang kesimidan dt vakt davomida Idt zaryadni kuchiradi. Elektr tokning dt vakt davomida bajargan ishi

$$dA = IUdt = I^2 R dt = U^2 dt / R \quad (4.22)$$

bo'ladi. Elektr tokning quvvati esa quyidagicha aniqlanadi:

$$P = dA/dt = IU = I^2 R = U^2 / R. \quad (4.23)$$

Elektr tokning ishi joule (J) larda, quvvati esa vatt (Vt) larda o'lchanadi. Lekin, amalda, elektr tokning sistemaga oid bo'lmagan vatt-soat (Vt-soat) va kilovatt-soat (kVt-soat) deb nomlangan birliklaridan keng foydalaniladi:

$$1 \text{ Vt-soat} = 3,6 \cdot 10^3 \text{ J};$$

$$1 \text{ kVt-soat} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}.$$

Elektr tok qo'zg'almas metall o'tkazgichdan o'tayotgan xolda tokning bajargan barcha ishi shu o'tkazgichning ichki energiyasining ortishiga, ya'ni issiklik energiyasiga aylanadi. Joule va Lents aniqlagan konO'nga asosan, o'tkazgichda ajralib chiqadigan issiklik miqdori o'tkazgichning qarshiligiga, tok kuchining kvadratiga va vaktga proporsional, ya'ni:

$$dQ = I^2 R dt. \quad (4.24)$$

Bu qonuniyatdan foydalanib, 7-rasmda ifodalangan elementar tsilindrda dt vaktida ajralib chiqadigan issiklik miqdorini topaylik:

$$dQ = I^2 R dt = \rho j^2 dl \cdot dS \cdot dt. \quad (4.25)$$

Agar $dl \cdot dS = dV$ – tsilindrchaning xajmi ekanligini hisobga olsak,

$$dQ = \rho j^2 dV dt. \quad (4.26)$$

Bu ifoda o'tkazgichning dV xajmida dt vakt ichida ajralib chiqkan issiklik miqdorini ifodalaydi. SHuning uchun (26) ni $dVdt$ ga bo'lsak, o'tkazgichning birlik xajmida birlik vaktida ajralib chiquvchi issiklik miqdorini xarakterlovchi kattalikni topamiz. Bu kattalik tok issiklik quvvatining zichligi deb ataladi:

$$w = dQ/(dVdt) = \rho j^2. (4.27)$$

(19) va (20) ifodalardan foydalanib (27) ni quyidagicha xam yozish mumkin:

$$w = jE = \tau E^2. (4.28)$$

Bu ifoda Joul-Lents qonunining differentsial ko'rinishidir.

Kirxgof qoidalari

Kirxgof qoidalari tarmoklangan murakkab zanjir qismlarini xisoblashda qo'llaniladi.

Elektr zanjirining kamida uchta o'tkazgich tutashgan nuqtasi tugun deyiladi. Odatda, tugunga kelayotgan toklarni musbat ishora bilan, ketuvchi toklarni esa manfiy ishora bilan olinadi. Kirxgofning birinchi qoidasiga asosan, tugunda uchrashuvchi toklarning algebraik yig'indisi nolga teng yoki tugO'nga keluvchi toklarning arifmetik yig'indisi tugundan ketuvchi toklarning arifmetik yig'indisiga teng bo'ladi.

4-rasmdagi elektr tugun uchun Kirxgofning birinchi qoidasi quyidagi ko'rinishda yoziladi:



4.13-rasm

$$\sum_k I_k = I_1 + I_2 + I_3 - I_4 - I_5 = 0, (4.29)$$

yoki

$$I_1 + I_2 + I_3 = I_4 + I_5.$$

Kirxgof ikkinchi qoidasining analitik ko'rinishini keltirib chiqarish uchun biror murakkab tarmoklangan elektr zanjirdan ixtiyoriy AVSDA berk konturni ajratib olaylik (9-rasm). Bu konturni ixtiyoriy yunalishda aylanganda qo'shni tugunlar orasidagi zanjir qismlari uchun Om qonuni (16) ni qo'llaymiz. Bunda quyidagi shartlarga rioya qilish kerak:



4.14-rasm

- 1) zanjirmiig xar bir qismining qarshiligi (R) deganda shu qismdagi barcha tashqi qarshiliklar va tok manbalari ichki qarshiliklarining yig'indisi tushuniladi;
- 2) zanjiming ayrim qismlaridagi tokning yunalishi konturni aylanish yunalishi bilan mos tushsa, bunday tokni musbat, aks xolda manfiy deb xisoblanadi:

3) zanjirdagi tok manbalarining manfiy qutbidan musbat qutbi tomon yurish konturni aylanish yunalishi bilan mos tushsa, manbaning EYK musbat ishora bilan, aks xolda manfiy ishora bilan olinadi.

Shunday qilib,

$$\text{AB qism uchun } I_1 R_1 = \varphi_A - \varphi_B + \varepsilon_1,$$

$$\text{BC qism uchun } I_2 R_2 = \varphi_B - \varphi_C + \varepsilon_2 - \varepsilon_3,$$

$$\text{CD qism uchun } -I_3 R_3 = \varphi_C - \varphi_D,$$

$$\text{DA qism uchun } -I_4 R_4 = \varphi_D - \varphi_A - \varepsilon_4 - \varepsilon_5,$$

Bu tenglamalarni qo'shsak,

$$I_1 R_1 + I_2 R_2 - I_3 R_3 - I_4 R_4 = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 - \varepsilon_3 - \varepsilon_4 - \varepsilon_5 \quad (4.30)$$

yoki I va ε lar algebraik kattaliklar ekanligini xisobga olib, (30) ni quyidagi ko'rinishda yoza olamiz:

$$\sum_i I_i R_i = \sum_k \varepsilon_k \quad (4.31)$$

Bu ifoda Kirxgofning ikkinchi qoidasining analitik ko'rinishidir: tarmoklangan elektr zanjirdagi ixtiyoriy berk kontur uchun bu kontur ayrim qismlardagi tok kuchlarining mos qismlaridagi qarshiliklarga Ko'paytmalarining algebraik yig'indisi ushbu konturdagi barcha EYK larning algebraik yig'indisiga teng.

(5) tenglamalar sistemasidan va tugunlar uchun yozilgan (4) tenglamalardan foydalanib xar qanday murakkab elektr zanjir parametrlarini xisoblash mumkin.

Nazorat savollari

Zanjiming bir jinsli qismi uchun Om qonuni. O'tkazgichning qarshiligi (potentsiallar ayirmasi, kuchlanish).

O'tkazgichning qarshiligini mavjud bo'lishini o'tkazgichlarning elektron nazariyasiga asosan tushuntiring.

O'tkazgichning qarshiligi va qarshilikning temperaturaga bog'liq formulalarini keltiring va tushuntirib bering.

O'tkazgichlarni ketma-ket ulashdagi formulalarni keltirib chiqaring.

O'tkazgichlarni parallel ulashdagi formulalarni keltirib chiqaring.

Joul - Lens qonuni. Joul - Lens qonunini differentsial ko'rinishi. (Elektr o'tkazuvchanlik).

Om qonunining differentsial ko'rinishi (elektr o'tkazuvchanlik).

Zanjiming bir jinsli bo'lmagan qismi uchun Om qonuni (potentsiallar ayirmasi, kuchlanish).

Tok manbai qutblaridagi potentsiallar ayirmasi, uning EYK ga qachon teng bo'lishini ko'rsating. Voltmetr yordamida manbaning EYK sini aniq o'lchash mumkin emasligini ko'rsating.

Kirxgofning II-qoidasi va uning elektr zanjirga tadbiqi. o'zgarmas tok qonunlari.

Asosiy tushunchalar Agar biror sirtan zaryadlangan zarralar oqimi vujudga kelsa elektr toki mavjud bo'ladi. Elektr toki tok kuchi bilan xarakterlanadi. Tok kuchi shu sirtan birlik vaqt ichida o'tuvchi zaryad miqdori bilan o'lchanadi.

$$I = \frac{dQ}{dt} \quad 4.32$$

Elektr toki ham musbat, ham manfiy zaryad tashuvchilarning harakati tufayli yuzaga keladi.

$$I = \frac{dQ^+}{dt} + \frac{|dQ^-|}{dt} \quad 4.33$$

Elektr toki o'tayotgan sirt bo'yicha tekis taqsimlanmagan bo'lishi mumkin. Bu vaqtda yo'nalishi musbat zarralar ko'chishi yo'nalishi bilan mos keluvchi tok zichligi vektoridan foydalaniladi:

$$\vec{j} = \frac{dI}{dS} = e^+ n^+ v^+ + e^- n^- v^- \quad 4.34$$

bu erda: n - birlik pajmdagi zaryad tashuvchilar soni, v - tezlik.

Vaqt o'tishi bilan tok kuchining qiymati o'zgarmasa bunday tokka doimiy tok deyiladi.

Om 1826 yilda o'tkazgichdan o'tayotgan tok kuchi uning uchlaridagi $\varphi_1 - \varphi_2$ potensiallar ayirmasiga, yoki U - kuchlanishga to'g'ri proporsional ekanligini ko'rsatdi:

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R} = \frac{U}{R} \quad 4.35$$

bu erda: R o'tkazgich harshiligi.

O'tkazgich harshiligi o'tkazgich materialiga, uning o'lchamlari va shakliga bog'liqdir. S ko'ndalang kesim yuzasiga ega bo'lgan uzunlikdagi o'tkazgich harshiligi quyidagiga teng bo'ladi:

$$R = \rho \frac{l}{S} = \frac{1}{\sigma} \frac{l}{S} \quad 4.36$$

bunda ρ - o'tkazgichning materialiga bog'liq bo'lgan kattalik, unga materialning solishtirma qarshiligi

$$\rho = \frac{1}{\sigma},$$

deyiladi. σ - solishtirma o'tkazuvchanlikdir.

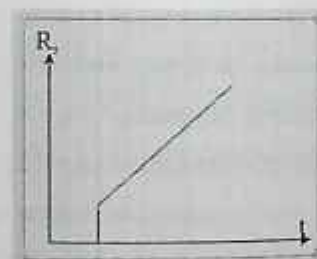
O'tkazgichning qarshiligi, shuningdek solishtirma qarshiligi ham temperaturaga bog'liq bo'ladi. Agar 00°C temperaturadagi o'tkazgichning qarshiligi R_0 (ρ_0) bo'lsa,

t - temperaturadagi qarshiligi (solishtirma qarshiligi):

$$R = R_0(1 + \alpha t) \quad \text{yoki} \quad \rho = \rho_0(1 + \alpha t) \quad \text{O'zgarmas tok qonunlari bo'ladi.}$$

1911 yilda golland fizigi Kammerling-Onnes juda past temperaturalarda ($1 - 70^\circ\text{K}$) ba'zi metallar va qotishmalarning qarshiliklarining keskin kamayib o'lga intilishini kuzatgan. Bu hodisaga o'ta o'tkazuvchanlik deyiladi.

Tok zichligi uchun Om qonunining ifodasi quyidagicha bo'ladi:



$$\varphi_1 - \varphi_2 = -\Delta U$$

bo'lsin.

$$\Delta I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R} = -\sigma \frac{\Delta U}{\Delta l} \Delta S$$

bundan,

$$\frac{\Delta I}{\Delta S} = -\sigma \frac{\Delta U}{\Delta l},$$

lekin

$$\frac{\Delta I}{\Delta S} = j, -\frac{\Delta U}{\Delta l} = E \quad 4.37$$

bo'lganligi uchun,

$$\vec{j} = \sigma \cdot \vec{E}$$

bo'ladi. Bu munosabat tok zichligi uchun Om qonunini ifodalaydi.

O'tkazgich ichida zaryadni ko'chirishda bajarilgan ish

$$A = I \cdot t \cdot U = I^2 \cdot R \cdot t \quad 4.38$$

Maydon kuchlarining ishi o'tkazgichdagi tokni oshirmaydi va, demak, o'tkazgichni isitishga sarflanadi. Ajralib chiqqan issiqlik miqdori, Joul-Lents qonuniga asosan

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t$$

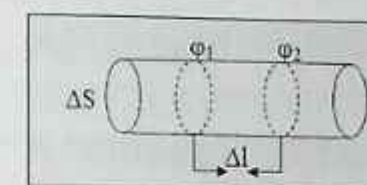
Issiqlik energiyasi zichligi ifodasidan foydalansak, ifoda quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$w = \frac{Q}{S \cdot \Delta l \cdot t} = \sigma \cdot E^2 \quad 4.39$$

O'tkazgich ichida zarrachalarning harakati uning uchlaridagi potensiallar ayirmasini nolga tenglashtiradi va tok oqishi to'xtaydi. Zaryadlarning doimiy harakatini ta'minlash uchun yopiq zanjir hosil qilish kerak va unda zarrachalarning harakatini yuzaga keltiruvchi tashqi kuchlar manbai bo'lishi kerak. Bu vazifani tok manbalari bajaradi. Tok manbalari gal'vanik elementlar, batareyalar, generatorlar bo'lishi mumkin. Tok manbalari ξ - elektr yurituvchi kuch deb ataluvchi kattalik bilan

$$\xi = \frac{A_r}{Q} \quad 4.40$$

xarakterlanadi.



Vaqt o'tishi bilan tok kuchining qiymati o'zgarmasa bunday tokka doimiy tok deyiladi.

Om 1826 yilda o'tkazgichdan o'tayotgan tok kuchi uning uchlaridagi $\varphi_1 - \varphi_2$ potentsiallar ayirmasiga, yoki U - kuchlanishga to'g'ri proporsional ekanligini ko'rsatdi:

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R} = \frac{U}{R} \quad 4.35$$

bu erda: R o'tkazgich qarshiligi.

O'tkazgich qarshiligi o'tkazgich materialiga, uning o'lchamlari va shakliga bog'liqdir. S ko'ndalang kesim yuzasiga ega bo'lgan l uzunlikdagi o'tkazgich qarshiligi quyidagicha teng bo'ladi:

$$R = \rho \frac{l}{S} = \frac{1}{\sigma} \frac{l}{S} \quad 4.36$$

bunda ρ - o'tkazgichning materialiga bog'liq bo'lgan kattalik, unga materialning solishtirma qarshiligi

$$\rho = \frac{1}{\sigma},$$

deyiladi. σ - solishtirma o'tkazuvchanlikdir.

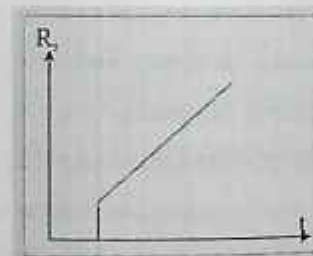
O'tkazgichning qarshiligi, shuningdek solishtirma qarshiligi ham temperaturaga bog'liq bo'ladi. Agar 00°C temperaturadagi o'tkazgichning qarshiligi R_0 (ρ_0) bo'lsa,

t - temperaturadagi qarshiligi (solishtirma qarshiligi):

$$R = R_0(1 + \alpha t) \quad \text{yoki} \quad \rho = \rho_0(1 + \alpha t) \quad \text{O'zgarmas tok qonunlari bo'ladi.}$$

1911 yilda golland fizigi Kammerling-Onnes juda past temperaturalarda ($1 - 70^\circ\text{K}$) ba'zi metallar va qotishmalarning qarshiliklarining keskin kamayib o'lga intilishini kuzatgan. Bu hodisaga o'ta o'tkazuvchanlik deyiladi.

Tok zichligi uchun Om qonunining ifodasi quyidagicha bo'ladi:



$$\varphi_1 - \varphi_2 = -\Delta U$$

bo'lsin.

$$\Delta I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R} = -\sigma \frac{\Delta U}{\Delta l} \Delta S$$

bundan,

$$\frac{\Delta I}{\Delta S} = -\sigma \frac{\Delta U}{\Delta l},$$

lekin

$$\frac{\Delta I}{\Delta S} = j, -\frac{\Delta U}{\Delta l} = E \quad 4.37$$

bo'lganligi uchun,

$$\vec{j} = \sigma \cdot \vec{E}$$

bo'ladi. Bu munosabat tok zichligi uchun Om qonunini ifodalaydi.

O'tkazgich ichida zaryadni ko'chirishda bajarilgan ish

$$A = I \cdot t \cdot U = I^2 \cdot R \cdot t \quad 4.38$$

Maydon kuchlarining ishi o'tkazgichdagi tokni oshirmaydi va, demak, o'tkazgichni isitishga sarflanadi. Ajralib chiqqan issiqlik miqdori, Joul-Lents qonuniga asosan

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t$$

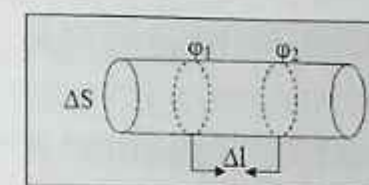
Issiqlik energiyasi zichligi ifodasidan foydalansak, ifoda quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$w = \frac{Q}{S \cdot \Delta l \cdot t} = \sigma \cdot E^2 \quad 4.39$$

O'tkazgich ichida zarrachalarning harakati uning uchlaridagi potentsiallar ayirmasini nolga tenglashtiradi va tok oqishi to'xtaydi. Zaryadlarning doimiy harakatini ta'minlash uchun yopiq zanjir hosil qilish kerak va unda zarrachalarning harakatini yuzaga keltiruvchi tashqi kuchlar manbai bo'lishi kerak. Bu vazifani tok manbalari bajaradi. Tok manbalari gal'vanik elementlar, batareyalar, generatorlar bo'lishi mumkin. Tok manbalari ξ - elektr yurituvchi kuch deb ataluvchi kattalik bilan

$$\xi = \frac{A_r}{Q} \quad 4.40$$

xarakterlanadi.



Elektr yurituvchi kuch o'tkazgichda birlik zaryadni ko'chirishda tashqi kuchlar bajargan ishga teng bo'lgan kattaligidir.

Elementni tutashtiruvchi zanjirning harshiligi R ga teng bo'lsin. Bu harshilikni tashqi harshilik deyiladi. Element o'zining harshiligi r - ichki harshilik bo'ladi. Zanjirdan tok o'tayotgan vaqtda ajralib chiqqan issiqlik miqdori Joule-Lents qonuniga asosan: $Q = I^2 \cdot R \cdot t + I^2 \cdot r \cdot t$ 4.41

va tashqi kuchlar bajargan ish: $A_r = \xi \cdot I \cdot t$ 4.42

ga teng bo'ladi. Bu ifodalarni tenglashtirib

$$\xi \cdot I \cdot t = I^2 \cdot R \cdot t + I^2 \cdot r \cdot t \quad \text{yoki} \quad I = \frac{\xi}{R+r} \quad 4.43$$

hosil qilinadi. To'liq zanjir uchun Om qonunini ifodalaydi.

Tarmoqlangan zanjir uchun Kirxgof qoidalar.

1. Kirxgofning birinchi qoidasi:

Tugunda uchrashuvchi tok kuchlarining algebraik yig'indisi nolga teng.

$$\sum_{k=1}^n I_k = 0$$

2. Kirxgofning ikkinchi qoidasi:

AVSA berk konturi uchun Om qonunini tadbiiq qilamiz:

$$I_1 R_1 = \varphi_1 - \varphi_2 + \xi_1$$

$$I_2 R_2 = \varphi_2 - \varphi_3 + \xi_2$$

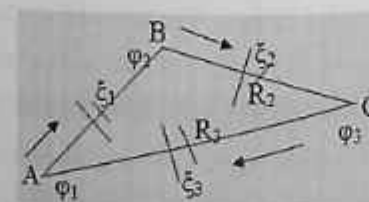
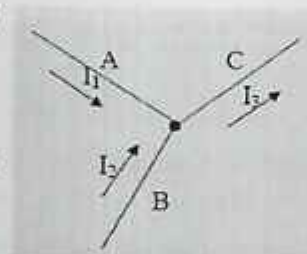
$$I_3 R_3 = \varphi_3 - \varphi_1 + \xi_3$$

Bu uchta ifodani hadma-had qo'shsak

$$I_1 R_1 + I_2 R_2 + I_3 R_3 = \xi_1 + \xi_2 + \xi_3$$

yoki

$$\sum_{k=1}^n I_k R_k = \sum_{k=1}^n \xi_k$$



Nazorat savollari

1. O'zgarmas elektr toki. Tok kuchi. Tokning yo'nalishi.
2. O'zgarmas elektr toki. Tok zichligi va uning birligi.
3. Elektr tokining manbai. Elektr yurituvchi kuchga ta'rif bering.
4. O'tkazgichda tok mavjud bo'lish shartlarini ayting.
5. Elektr yurituvchi kuch (EYK) va kuchlanish orasidagi farqni

tushuntiring.

Masalalar yechishdan namunalar

Har qanday berk konturda tok kuchlarining zanjirning tegishli qismlari harshiliklariga ko'paytmalari yig'indisi shu konturda uchraydigan EYK lar yig'indisiga tengdir.

1. Batareyaning EYuK 1,55V, Uni qarshiligi 3Ω bo'lgan tashqi qarshilikka ulanganda batareya qisqichlaridagi kuchlanish 0,95V ga teng bo'ldi. Batareyaning ichki qarshiligi nimaga teng?

№1	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$\varepsilon = 1,55V$ $R = 3\Omega$ $U = 0,95V$ ----- $r = ?$	Iste'molchidagi kuchlanish yoki tashqi qarshilikdagi kuchlanish. $U_k = \frac{R}{R+r} \cdot \varepsilon$ Bundan $r = \frac{\varepsilon}{U} R - R = R \left(\frac{\varepsilon}{U} - 1 \right)$	$r = 3 \cdot \left(\frac{1,55}{0,95} - 1 \right) = 1,89\Omega$

2. YuK 30V bo'lgan batareya ulangan tok zanjiri dagi tok kuchi 3A ga teng. Batareya qisqichlaridagi kuchlanish 18 V. Batareyaning ichki qarshiligini va tashqi zanjir qarshiligini toping

№2	Berilgan	Formula	Hisoblash
----	----------	---------	-----------

Elektr yurituvchi kuch o'tkazgichda birlik zaryadni ko'chirishda tashqi kuchlar bajargan ishga teng bo'lgan kattalikdir.

Elementni tutashtiruvchi zanjirning harshiligi R ga teng bo'lsin. Bu harshilikni tashqi harshilik deyiladi. Element o'zining harshiligi r - ichki harshilik bo'ladi. Zanjirdan tok o'tayotgan vaqtda ajralib chiqqan issiqlik miqdori Joule-Lents qonuniga asosan: $Q = I^2 \cdot R \cdot t + I^2 \cdot r \cdot t$ 4.41

va tashqi kuchlar bajargan ish: $A_r = \xi \cdot I \cdot t$ 4.42

ga teng bo'ladi. Bu ifodalarni tenglashtirib

$$\xi \cdot I \cdot t = I^2 \cdot R \cdot t + I^2 \cdot r \cdot t \text{ yoki } I = \frac{\xi}{R+r} \text{ 4.43}$$

hosil qilinadi. To'liq zanjir uchun Om qonunini ifodalaydi.

Tarmoqlangan zanjir uchun Kirxgof qoidalar.

1. Kirxgofning birinchi qoidasi:

Tugunda uchrashuvchi tok kuchlarining algebraik yig'indisi nolga teng.

$$\sum_{k=1}^n I_k = 0$$

2. Kirxgofning ikkinchi qoidasi:

AVSA berk konturi uchun Om qonunini tadbiq qilamiz:

$$I_1 R_1 = \varphi_1 - \varphi_2 + \xi_1$$

$$I_2 R_2 = \varphi_2 - \varphi_3 + \xi_2$$

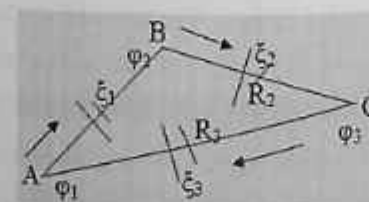
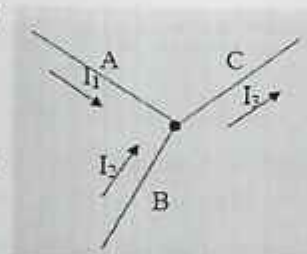
$$I_3 R_3 = \varphi_3 - \varphi_1 + \xi_3$$

Bu uchta ifodani hadma-had qo'shsak

$$I_1 R_1 + I_2 R_2 + I_3 R_3 = \xi_1 + \xi_2 + \xi_3$$

yoki

$$\sum_{k=1}^n I_k R_k = \sum_{k=1}^n \xi_k$$



Nazorat savollari

1. O'zgarmas elektr toki. Tok kuchi. Tokning yo'nalishi.
2. O'zgarmas elektr toki. Tok zichligi va uning birligi.
3. Elektr tokining manbai. Elektr yurituvchi kuchga ta'rif bering.
4. O'tkazgichda tok mavjud bo'lish shartlarini ayting.
5. Elektr yurituvchi kuch (EYK) va kuchlanish orasidagi farqni

tushuntiring.

Masalalar yechishdan namunalar

Har qanday berk konturda tok kuchlarining zanjirning tegishli qismlari harshiliklariga ko'paytmalari yig'indisi shu konturda uchraydigan EYK lar yig'indisiga tengdir.

1. Batareyaning EYuK 1,55V, Uni qarshiligi 3Ω bo'lgan tashqi qarshilikka ulanganda batareya qisqichlaridagi kuchlanish 0,95V ga teng bo'ldi. Batareyaning ichki qarshiligi nimaga teng?

№1	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$\varepsilon = 1,55V$ $R = 3\Omega$ $U = 0,95V$ ----- $r = ?$	Iste'molchidagi kuchlanish yoki tashqi qarshilikdagi kuchlanish. $U_k = \frac{R}{R+r} \cdot \varepsilon$ Bundan $r = \frac{\varepsilon}{U} R - R = R \left(\frac{\varepsilon}{U} - 1 \right)$	$r = 3 \cdot \left(\frac{1,55}{0,95} - 1 \right) = 1,89\Omega$

2. YuK 30V bo'lgan batareya ulangan tok zanjiri dagi tok kuchi 3A ga teng. Batareya qisqichlaridagi kuchlanish 18 V. Batareyaning ichki qarshiligini va tashqi zanjir qarshiligini toping

№2	Berilgan	Formula	Hisoblash
----	----------	---------	-----------

$\varepsilon = 30V$ $I = 3A$ $U = 18V$ ----- $r = ? R = ?$	O'tkazgichdagi kuchlanish U (V)ning uchlardagi potentsiallar farqiga teng $U = I \cdot R$ bundan $R = \frac{U}{I}$ Batareyaning ichki qarshiligi $r = \frac{\varepsilon}{I}$	$R = \frac{18}{3} = 6\Omega$ $r = \frac{30}{3} - 6 = 4\Omega$
--	---	--

3. Elektr toki manbayini 5Ω li qarshilikka ulanganda zanjirdagi tok kuchi $5A$ ga, 2Ω li qarshilikka ulanganda zanjirdagi tok kuchi $8A$ ga teng bo'ldi, Manbaning ichki qarshiligini va EYuK ni toping?

№3	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$R_1 = 5\Omega$ $R_2 = 2\Omega$ $I_1 = 5A$ $I_2 = 8A$ ----- $r = ? \varepsilon = ?$	To'la zanjir uchun Om qonuni. $I = \frac{\varepsilon}{R+r}$ Bundan $\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2+r}{R_1+r} \Rightarrow I_1 R_1 + I_1 r = I_2 R_2 + I_2 r \Rightarrow$ $I_1 R_1 - I_2 R_2 = I_2 r - I_1 r = r \cdot (I_2 - I_1) \Rightarrow$ $r = \frac{I_1 R_1 - I_2 R_2}{I_2 - I_1}$ $\varepsilon = I_1(R_1 + r)$ yoki $\varepsilon = I_2(R_2 + r)$	$r = \frac{5 \cdot 5 - 8 \cdot 2}{8 - 5}$ $= 3\Omega$ $\varepsilon = 5(5 + 3) = 40V$

4. Tok manbayi elementining EYuK $1,5V$. Qisqa tutashuv toki $30A$. Elementning ichki qarshiligi nimaga teng? Agar elementni qarshiligi 1Ω bo'lgan o'altakka ulansa, element qutblardagi kuchlanish qanchaga teng bo'ladi?

№4	Berilgan	Formula	Hisoblash
----	----------	---------	-----------

$\varepsilon = 1,5V$ $I_0 = 30A$ $R = 1\Omega$ ----- $r = ? U = ?$	Qisqa tutashuv toki $I_0 = \frac{\varepsilon}{r}$ Bundan $r = \frac{\varepsilon}{I_0}$ Iste'molchidagi kuchlanish yoki tashqi qarshilikdagi kuchlanish. $U = \frac{\varepsilon}{R+r} \cdot R$	$r = \frac{1,5}{30} = \frac{15}{300} = 0,05\Omega$ $U = \frac{1,5}{1+0,05} \cdot 1 =$ $= \frac{150}{105} = 1,42V$
--	--	---

5. Agar batareyaga ulangan tashqi qarshilik n marta ortganda, qarshilikdagi kuchlanib U_1 dan U_2 ga ortsa, batareyaning EYuK nimaga teng?

№5	Berilgan	Formula
	U_1 U_2 $R_2 = nR$ ----- $\varepsilon = ?$	Iste'molchidagi kuchlanish yoki tashqi qarshilikdagi kuchlanish. $U_k = \frac{R}{R+r} \cdot \varepsilon$ Bundan $r = \frac{\varepsilon}{U} R - R = R \left(\frac{\varepsilon}{U} - 1 \right)$ $\begin{cases} r_1 = R_1 \left(\frac{\varepsilon}{U_1} - 1 \right) \\ r_2 = R_2 \left(\frac{\varepsilon}{U_2} - 1 \right) \end{cases} \Rightarrow r_1 = r_2 \Rightarrow R_1 \left(\frac{\varepsilon}{U_1} - 1 \right) = R_2 \left(\frac{\varepsilon}{U_2} - 1 \right) \Rightarrow$ $R \left(\frac{\varepsilon}{U_1} - 1 \right) = nR \left(\frac{\varepsilon}{U_2} - 1 \right) \Rightarrow \frac{\varepsilon}{U_1} - 1 = n \frac{\varepsilon}{U_2} - n \Rightarrow n - 1 = \varepsilon \left(\frac{n}{U_2} - \frac{1}{U_1} \right) \Rightarrow$ $n - 1 = \varepsilon \left(\frac{nU_1 - U_2}{U_2 \cdot U_1} \right) \Rightarrow \varepsilon = \frac{U_1 \cdot U_2 (n-1)}{nU_1 - U_2}$

6. Qanday sharoitda batareya uchlardagi kuchlanish uning EYuKdan katta bo'lishi mumkin?

Javob: Akkumulyatorlarni zaryadlashda, U -zaryadlash kuchlanishi, I -zaryadlash toki

$$U_{\text{zaryad}} = \varepsilon + I_{\text{zaryad}} \cdot r$$

7. EYuK ε_1 va ε_2 bo'lgan elementlar parallel ulangan. Agar ularning ichki qarshiliklari teng bo'lsa, elementlar qisqichlaridagi potentsiallar ayirmasini toping.

$\varepsilon = 30V$ $I = 3A$ $U = 18V$ ----- $r = ? R = ?$	O'tkazgichdagi kuchlanish U (V)ning uchlardagi potentsiallar farqiga teng $U = I \cdot R$ bundan $R = \frac{U}{I}$ Batareyaning ichki qarshiligi $r = \frac{\varepsilon}{I}$	$R = \frac{18}{3} = 6\Omega$ $r = \frac{30}{3} - 6 = 4\Omega$
--	---	--

3. Elektr toki manbayini 5Ω li qarshilikka ulanganda zanjirdagi tok kuchi $5A$ ga, 2Ω li qarshilikka ulanganda zanjirdagi tok kuchi $8A$ ga teng bo'ldi, Manbaning ichki qarshiligini va EYuK ni toping?

№3	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$R_1 = 5\Omega$ $R_2 = 2\Omega$ $I_1 = 5A$ $I_2 = 8A$ ----- $r = ? \varepsilon = ?$	To'la zanjir uchun Om qonuni. $I = \frac{\varepsilon}{R+r}$ Bundan $\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2+r}{R_1+r} \Rightarrow I_1 R_1 + I_1 r = I_2 R_2 + I_2 r \Rightarrow$ $I_1 R_1 - I_2 R_2 = I_2 r - I_1 r = r \cdot (I_2 - I_1) \Rightarrow$ $r = \frac{I_1 R_1 - I_2 R_2}{I_2 - I_1}$ $\varepsilon = I_1(R_1 + r)$ yoki $\varepsilon = I_2(R_2 + r)$	$r = \frac{5 \cdot 5 - 8 \cdot 2}{8 - 5}$ $= 3\Omega$ $\varepsilon = 5(5 + 3) = 40V$

4. Tok manbai elementining EYuK $1,5V$. Qisqa tutashuv toki $30A$. Elementning ichki qarshiligi nimaga teng? Agar elementni qarshiligi 1Ω bo'lgan o'altakka ulansa, element qutblardagi kuchlanish qanchaga teng bo'ladi?

№4	Berilgan	Formula	Hisoblash
----	----------	---------	-----------

$\varepsilon = 1,5V$ $I_q = 30A$ $R = 1\Omega$ ----- $r = ? U = ?$	Qisqa tutashuv toki $I_q = \frac{\varepsilon}{r}$ Bundan $r = \frac{\varepsilon}{I_q}$ Iste'molchidagi kuchlanish yoki tashqi qarshilikdagi kuchlanish. $U = \frac{\varepsilon}{R+r} \cdot R$	$r = \frac{1,5}{30} = \frac{15}{300} = 0,05\Omega$ $U = \frac{1,5}{1+0,05} \cdot 1 =$ $= \frac{150}{105} = 1,42V$
--	--	---

5. Agar batareyaga ulangan tashqi qarshilik n marta ortganda, qarshilikdagi kuchlanib U_1 dan U_2 ga ortsa, batareyaning EYuK nimaga teng?

№5	Berilgan	Formula
	U_1 U_2 $R_2 = nR$ ----- $\varepsilon = ?$	Iste'molchidagi kuchlanish yoki tashqi qarshilikdagi kuchlanish. $U_k = \frac{R}{R+r} \cdot \varepsilon$ Bundan $r = \frac{\varepsilon}{U} R - R = R \left(\frac{\varepsilon}{U} - 1 \right)$ $\begin{cases} r_1 = R_1 \left(\frac{\varepsilon}{U_1} - 1 \right) \\ r_2 = R_2 \left(\frac{\varepsilon}{U_2} - 1 \right) \end{cases} \Rightarrow r_1 = r_2 \Rightarrow R_1 \left(\frac{\varepsilon}{U_1} - 1 \right) = R_2 \left(\frac{\varepsilon}{U_2} - 1 \right) \Rightarrow$ $R \left(\frac{\varepsilon}{U_1} - 1 \right) = nR \left(\frac{\varepsilon}{U_2} - 1 \right) \Rightarrow \frac{\varepsilon}{U_1} - 1 = n \frac{\varepsilon}{U_2} - n \Rightarrow n - 1 = \varepsilon \left(\frac{n}{U_2} - \frac{1}{U_1} \right) \Rightarrow$ $n - 1 = \varepsilon \left(\frac{nU_1 - U_2}{U_2 \cdot U_1} \right) \Rightarrow \varepsilon = \frac{U_1 \cdot U_2 (n-1)}{nU_1 - U_2}$

6. Qanday sharoitda batareya uchlardagi kuchlanish uning EYuKdan katta bo'lishi mumkin?

Javob: Akkumulyatorlarni zaryadlashda, U -zaryadlash kuchlanishi, I -zaryadlash toki

$$U_{\text{zaryad}} = \varepsilon + I_{\text{zaryad}} \cdot r$$

7. EYuK ε_1 va ε_2 bo'lgan elementlar parallel ulangan. Agar ularning ichki qarshiliklari teng bo'lsa, elementlar qisqichlaridagi potentsiallar ayirmasini toping.

№7	Berilgan	Formula
	ε_1 ε_2 $r_1 = r_2 = r$ $U = ?$	2 ta har xil manba parallel ulanganda umumiy qarshilik $r_{um} = \frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2}$ Umumiy tok kuchi 2 ta manba o'zaro parallel ,tok yo'nalishi to'g'ri yo'nalishda ulanganda $I_{um} = I_1 + I_2 = \frac{\varepsilon_1}{r_1} + \frac{\varepsilon_2}{r_2}$ U holda $U = I_{um} \cdot r_{um} = \left(\frac{\varepsilon_1}{r_1} + \frac{\varepsilon_2}{r_2} \right) \frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2}$ Umumiy tok kuchi 2 ta manba o'zaro parallel ,tok yo'nalishi qarama qarshi yo'nalishda ulanganda $I_{um} = I_1 - I_2 = \frac{\varepsilon_1}{r_1} - \frac{\varepsilon_2}{r_2}$ U holda $U = I_{um} \cdot r_{um} = \left(\frac{\varepsilon_1}{r_1} - \frac{\varepsilon_2}{r_2} \right) \frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2}$

8. EYuK 1,5 V ya 2 V bo'lgan elementlar bir xil ishorali qutblari bilan ulangan. Batareya klemmalariga ulangan voltmetr 1,7 V kuchlanishni ko'rsatdi. Elementlar ichki qarshiliklari nisbatini toping

№8	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$\varepsilon_1 = 1,5V$ $\varepsilon_2 = 2V$ $U = 1,7V$ $r_1 / r_2 = ?$	elementlar bir xil ishorali qutblari bilan ulangan bo'lsa $U = I_{um} \cdot r_{um} = \left(\frac{\varepsilon_1}{r_1} + \frac{\varepsilon_2}{r_2} \right) \frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2} \Rightarrow$ $U = \left(\frac{\varepsilon_1 \cdot r_2}{r_1 \cdot r_2} + \frac{\varepsilon_2 \cdot r_1}{r_1 \cdot r_2} \right) \frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2} = \frac{\varepsilon_1 \cdot r_2 + \varepsilon_2 \cdot r_1}{r_1 + r_2} \Rightarrow$ $U \cdot r_1 + U \cdot r_2 = \varepsilon_1 \cdot r_2 + \varepsilon_2 \cdot r_1 \Rightarrow$ $U \cdot r_1 - \varepsilon_2 \cdot r_1 = \varepsilon_1 \cdot r_2 - U \cdot r_2 \Rightarrow$ $(U - \varepsilon_2) \cdot r_1 = r_2 \cdot (\varepsilon_1 - U) \Rightarrow \frac{r_1}{r_2} = \frac{\varepsilon_1 - U}{U - \varepsilon_2}$	$\frac{r_1}{r_2} = \frac{\varepsilon_1 - U}{U - \varepsilon_2} = \frac{1,5 - 1,7}{1,7 - 2} = \frac{-0,2}{-0,3} = \frac{2}{3}$

9. EYuK 1,3 V ya 2 V bo'lgan elementlarning ichki qarshiliklari mos ravishda $0,1\Omega$ va $0,25\Omega$ ga teng. Ular parallel ulangan. Zanjirdagi tok kuchi va elementlar qisqichlaridagi kuchlanish topilsin.

№9	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$\varepsilon_1 = 1,3V$ $\varepsilon_2 = 2V$ $r_1 = 0,1\Omega$ $r_2 = 0,25\Omega$ $I = ? U = ?$	2 ta har xil manba parallel ulanganda $r_{um} = \frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2}$ umumiy qarshilik Umumiy tok kuchi 2 ta manba o'zaro parallel tok yo'nalishi to'g'ri yo'nalishda ulanganda $I_{um} = I_1 + I_2 = \frac{\varepsilon_1}{r_1} + \frac{\varepsilon_2}{r_2} \quad U \text{ holda}$ $U = I_{um} \cdot r_{um} = \left(\frac{\varepsilon_1}{r_1} + \frac{\varepsilon_2}{r_2} \right) \frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2}$	$I_{um} = \frac{1,3}{0,1} + \frac{2}{0,25} = 13 + 8 = 21A$ $U = 21 \cdot \frac{0,1 \cdot 0,25}{0,1 + 0,25} = \frac{21 \cdot 0,025}{0,35} = 1,5V$

10. Voltmetrning to'rtta o'lchash chegarasi bor: 3, 15, 75, 150 V, asbobdan o'tishi mumkin bo'lgan tok kuchi 0,8 mA. Agar voltmetrning ichki qarshiligi 1000Ω bo'lsa, Unga ulangan qo'shimcha qarshiliklarni toping?

№10	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$U_1 = 3V$ $U_2 = 15V$ $U_3 = 75V$ $U_4 = 150V$ $I = 0,8 \cdot 10^{-3} A$ $r = 1000\Omega$ $R_1 = ? R_2 = ?$ $R_3 = ? R_4 = ?$	Tarmoqdagi maksimal kuchlanish $U = I \cdot R_v + IR_1$ Voltmetrga shunt ketma-ket ulanadi, natijada voltmetrning o'lchash chegarasi n marta ortadi $R_{sh} = R_v \cdot \left(\frac{U_{max}}{U_v} - 1 \right)$	

$$\begin{aligned}
 R_1 &= R_v \cdot \left(\frac{I \cdot R_v + IR_1}{U_v} - 1 \right) \\
 R_1 U_v &= R_v \cdot (I \cdot R_v + IR_1 - U_v) \\
 R_1 U_v &= R_v I \cdot R_v + R_v IR_1 - R_v U_v \\
 R_1 (U_v - R_v I) &= R_v (I \cdot R_v - U_v) \\
 R_1 &= \frac{R_v (I \cdot R_v - U_v)}{(U_v - R_v I)}
 \end{aligned}$$

11. Ichki qarshiligi 200Ω bo'lgan galvanometr tok kuchi 100mA bo'lganda butun shkalasiga buriladi. Unga qanday qarshilikni ketma-ket qilib ulansa, voltmeter sifatida ishlab, 2 V kuchlanishgacha o'lay oladi?

№11	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$R_A = 200\Omega$ $I_A = 100\mu\text{A} =$ $= 100 \cdot 10^{-6} \text{ A}$ $U_{\text{max}} = 2\text{V}$ $R_x = ?$	$U_A = IR_A$ $U_A = U_v$ $R_{\text{sk}} = R_v \cdot \left(\frac{U_{\text{max}}}{U_v} - 1 \right)$	$U_A = 100 \cdot 10^{-6} \cdot 200 = 2 \cdot 10^{-2} \text{ V}$ $R_{\text{sk}} = 200 \cdot \left(\frac{2}{0,02} - 1 \right) = 200 \cdot 99 = 19800\Omega$

12. Mis sterjendan $0,5\text{ s}$ davomida zichligi 9 A/mm^2 bo'lgan tok o'tganda uning temperaturasi

qanday o'zgaradi? Misning solishtirma qarshiligi $1,7 \cdot 10^{-7} \Omega \cdot \text{m}$ zichligi 8900 kg/m^3 , solishtirma

issiqlik sig'imi 380 J/(kgK)

№12	Berilgan	Formula va hisoblash
-----	----------	----------------------

$t = 0,5s$	O'zgarmas elektr tokining zanjirning bir qismida bajargan ishi –
$j = 9 \frac{A}{mm^2} =$	A(J) $A = I^2 R \cdot t$
$= 9 \cdot 10^6 \frac{A}{m^2}$	Tok zichligi, qarshilik va modda zichligi
$\rho = 1,7 \cdot 10^{-7} \Omega \cdot m$	$j = \frac{I}{S}; R = \rho \frac{l}{S}; d = \frac{m}{V} = \frac{m}{l \cdot S};$
$d = 8900 \frac{kg}{m^3}$	tok o'tganda ajralgan issiqlik $Q = C \Delta t$
$C = 380 \frac{J}{kgK}$	O'zgarmas elektr tokining zanjirning bir qismida bajargan ishi
-----	isiqlikka aylanadi
$\Delta t = ?$	$A = Q$
	$I^2 \cdot R \cdot t = C \cdot \Delta t \Rightarrow j^2 S^2 \cdot \rho \frac{l}{S} \cdot t = C \cdot \Delta t \Rightarrow j^2 S \cdot \rho \cdot \frac{m}{d \cdot S} \cdot t = C \cdot \Delta t \Rightarrow$
	$\Delta t = \frac{j^2 \cdot \rho \cdot m \cdot t}{d \cdot C}$
	$\Delta t = \frac{(9 \cdot 10^6)^2 \cdot 1,7 \cdot 10^{-7} \cdot 1 \cdot 0,5}{8900 \cdot 380} = 0,2^0 C$

13. Niobiydan yasalgan spiral 1000 C ga qizdirilsa uning solishtirma qarshiligi necha marta o'zgaradi? Niobiy uchun $\alpha = 0,003 K^{-1}$ (Javobi:1,3 marta ortadi).

№13	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$\Delta t = 100^0 C$ $\alpha = 0,003 K^{-1}$ ----- $\frac{\rho}{\rho_0} = ?$	Niobiy solishtirma qarshiligi quyidagi qonun bo'yicha o'zgaradi $\rho = \rho_0 (1 + \alpha \Delta t)$ Bundan $\frac{\rho}{\rho_0} = 1 + \alpha \Delta t$	$\frac{\rho}{\rho_0} = 1 + 0,003 \cdot 100 = 1,3 marta$

14. Nikelin simning 200 C dagi qarshiligi 20 Ω ga teng edi. Uni 1200 C gacha qizdirilsa, qarshiligi nimaga teng bo'ladi? Nikelin uchun $\alpha = 0,0001 K^{-1}$

14	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$\Delta t = 100^{\circ}C$ $R_0 = 20\Omega$ $\alpha = 0,0001K^{-1}$ $R = ?$	Nikelin simning qarshiligi quyidagi qonun bo'yicha o'zgaradi $R = R_0(1 + \alpha\Delta t)$	$R = 20 \cdot (1 + 0,0001 \cdot 100) = 20 \cdot 1,01 =$ $= 20,2\Omega$

15. Vakuumli diodda elektron anodga 8 Mm/s tezlik bilan yetib boradi, Anod kuchlanishini toping

№15	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$g = 8Mm/s = 8 \cdot 10^6 m/s$ $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} kg$ $e = 1,6 \cdot 10^{-19} C$ $U = ?$	Katod nurlari katoddan anodga tez harakat qiluvchi elektronlar oqimidir. $\frac{m_e v^2}{2} = U \cdot e$ Bundan $U = \frac{m_e \cdot g^2}{2 \cdot e}$	$U = \frac{9,11 \cdot 10^{-31} \cdot (8 \cdot 10^6)^2}{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} =$ $= 180V$

16. Vakuumli diodda anoddagi maksimal tok kuchi 50 mA ga teng bo'ldi. Katoddan har sekunda nechta elektron uchib chiqmoqda?

№16	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$I = 50mA = 50 \cdot 10^{-3} A$ $e = 1,6 \cdot 10^{-19} C$ $N = ?$	Katoddan har sekunda uchib chiqayotgan elektronlar oqimi $N = \frac{q}{e} = \frac{I \cdot t}{e}$	$N = \frac{50 \cdot 10^{-3} \cdot 1}{1,6 \cdot 10^{-19}} =$ $= 3,1 \cdot 10^{17} ta$

5-§. Muhitlarda elektr toki

Reja

1. Metallarda va vakuumdagi elektr toki.
2. Boguslovskiy- Lengmyur qonuni.
3. Richardson-Deshman formulasi
4. Gazlardagi elektr toki.
5. Ionlanish va rekombinatsiya jarayonlari.
6. Zaif ionlashgan gazlarning o'tkazuvchanligi.

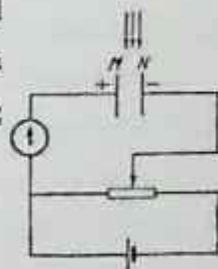
Mavzuning mazmuni. Metallarda. Bog'uslovskiy- Lengmyur qonuni Richardson-Deshman formulasi. Gazlardagi elektr toki. Ionlanish va rekombinatsiya jarayonlari. Zaif ionlashgan gazlarning o'tkazuvchanligi. Plazma va uning xossalari

Tayanch iboralar: nomustakil razryad, mustakil razryad, tuyinish toki, toj razryad, uchkunli razryad, yoy razryad, yolkin razryad.

Gazlar orqali elektr tokning o'tishini tekshirish uchun. 5. 1-rasmda tasvirlangan sxema asosida elektr zanjir to'zaylik. Bu zanjirning bir qismi, ya'ni M va N plastinalar (elektrodlar) orasidagi qismi biror gazdan iborat bo'lsin. Sxemadagi galvanometr zanjir buylab elektr tok okmayotganligini ko'rsatadi, chunki oddiy sharoitlarda gazda zaryad tashuvchilar bo'lmaydi. Demak, zanjir M va N elektrodlar orasida o'zilgan bo'ladi. SHuning uchun zanjir orqali elektr tok okishini ta'minlamokchi bo'lsak, elektrodlar oralig'iga zaryad tashuvchilar kiritish yoki biror usul bilan elektrodlar orasidagi gazda zaryad tashuvchilar vujudga keltirish kerak. Gazda zaryad tashuvchilar vujudga keltirishning barcha usullarini ikki gruppaga ajratish mumkin:

a) gazdagi zaryad tashuvchilar tashqi faktorlar tufayli vujudga kelishi natijasida kuzatiladigan elektr tokni nomustakil gaz razryad deyiladi;

b) M va N elektrodlar orasidagi elektr maydon ta'sirida vujudga kelgan zaryad tashuvchilar tufayli kuzatiladigan elektr



5.1-Metallarda va vakuumdagi elektr toki

tokni mustakil gaz razryad deyiladi.

1. Metallarda va vakuumdagi elektr toki.

2

Agar M va N elektrodlar orasidagi gazni qizdirsak yoki α , β , γ , rentgen, ultrabinafsha nurlar bilan nurlantirsak, gaz molekulalarining ionlashuvi sodir bo'ladi. Ionlashuv protsessining mohiyati quyidagidan iborat. Tashqi faktorlardan olgan energiya tufayli gaz molekulasidagi bir yoki bir necha elektron molekuladan ajralib chiqadi. Natijada molekula musbat zaryadlangan ionga aylanib koladi. Ajralib chiqqan elektronlarning bir qismi neytral molekulalar bilan birlashib manfiy zaryadlangan ionlarni vujudga keltiradi. Shuning uchun ham gazdagi (ionlashish protsessiga sababchi bo'lgan tashqi faktorni ionizator (ionlashtiruvchi) deb ataladi.

Ionlanish protsessi bilan bir katorda gazda rekombinatsiya protsessi xam sodir bo'ladi. Rekombinatsiya ionlanishga teskari protsess bo'lib, bunda musbat va manfiy ionlarning yoki elektron va musbat ionning tuknashuvi natijasida neytral molekulalar xosil bo'ladi.

SHunday qilib, gazlarda ionlanish protsessida manfiy zaryad tashuvchilar (elektronlar va manfiy ionlar) xamda musbat zaryad tashuvchilar (musbat ionlar) teng miqdorda xosil bo'ladi, rekombinatsiya protsessida esa teng miqdorda yo'qoladi.

Ionizator ta'sirida gazning birlik xajmida birlik vaktida $n+$ dona musbat va $n-$ dona manfiy zaryad tashuvchilar vujudga kelayotgan bo'lsin. Odatda $n+=n-$ bo'lganligi uchun, oddiygina qilib, n juft zaryad tashuvchilar vujudga kelyapti, deylik.

Rekombinatsiya protsessi tufayli $\Delta n'$ juft ion kamayayotgan bo'lsin. Elektr maydon tufayli musbat zaryad tashuvchilar manfiy zaryadlangan N elektrodga, manfiy zaryad tashuvchilar esa musbat zaryadlangan M elektrodga tortiladi va ularda neytrallanadi. Buning natijasida $\Delta n''$ juft ionlar kamayotgan bo'lsin. U xolda gazning birlik xajmida birlik vaktida kamayayotgan ionlarning umumiy soni

$$\Delta n = \Delta n' + \Delta n'' \quad (5.1)$$

ifoda bilan aniqlanadi. Bu ifodadagi qo'shiluvchilarning xissalari elektr maydonga bog'ligi. Ikki chegaraviy xolni ko'raylik.

1. Elektrodلarga berilgan kuchlanishning ancha kichiq qiymatlarida, ya'ni kuchsiz elektr maydonلarda ionلar asosan rekombinatsiya tufayli kamayadi ($\Delta n' \gg \Delta n''$). Lekin bir qism ionلar elektr maydon tufayli karana-karshi zaryadlangan elektrodلarga etib boradi va kuchsiz elektr tokni vujudga kelishiga sababchi bo'ladi. Elektr maydon ta'sirida musbat va manfiy zaryad tashuvchilar mos ravishda quyidagi tezliklar bilan harakat qiladi:

$$v_+ = u_+ E,$$

$$v_- = u_- E, \quad (5.2)$$

bu ifodalarda E – elektr maydon kuchlanganligi, u_+ va u_- lar esa mos ravishda musbat va manfiy zaryad tashuvchilarning harakatchanliklari. Ionning xarakatchanligi – kuchlanganligi 1 V bo'lgan elektr maydon ta'sirida ion erishgan tezlik bilan xarakterlanib, turli gazlar uchun turlicha qiymatlarga ega bo'ladi.

(5.2) ifoda bilan aniqlanuvchi tezliklar bilan tartibli harakat kiluvchi ionلar Δt vaqt ichida plastinalarga quyidagi zaryadlarni etkazadi:

$$Q_+ = qn_+ v_+ S \Delta t = qn_+ u_+ E S \Delta t,$$

$$Q_- = qn_- v_- S \Delta t = qn_- u_- E S \Delta t, \quad (5.3)$$

Bunda Q_+ va Q_- – mos ravishda manfiy va musbat zaryadlangan elektrodلarga ionلar tashib etkazayotgan zaryad miqdorlari, q – ionning zaryadi, S – elektrodning yuzi. Elektr maydon tomonidan kuchirilgan umumiy zaryad miqdori

$$Q = |Q_+| + |Q_-| = qn(u_+ + u_-) E S \Delta t \quad (5.4)$$

ifoda bilan aniqlanadi. Birlik yuz orqali birlik vaktدا kuchirilgan zaryad tok zichligi j ni ifodalar edi. Shuning uchun

$$j = \frac{Q}{S \Delta t} = qn(u_+ + u_-) E, \quad (5.5)$$

bu ifodadagi q , u_+ , u_- – lar ayni tajriba sharoiti uchun doimiy kattaliklardir. n esa unchalik katta bo'lmagan elektr maydonلar uchun o'zgarmas xisoblanadi. Demak, kuchsiz elektr maydonلarda (5) ifodadagi $qn(u_+ + u_-) = \sigma$ Ko'paytuvchini o'zgarmas kattalik deb xisoblash mumkin. U xolda (5) ifoda gazlar orqali o'tuvchi elektr tok uchun Om qonunini ifodalaydi:

$$j = \sigma E. (5.6)$$

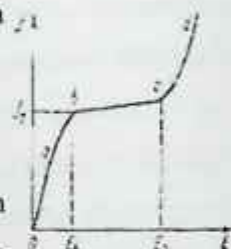
2. Endi M va N elektrodlanga berilgan kuchlanish yetarlicha katta bo'lgan holni ko'raylik. Bu holda elektr maydon ta'sirida ionlar ancha katta tezliklarga erishadi. Shuning uchun ionizator ta'sirida vujudga kelayotgan ionlarning deyarli hammasi rekombinatsiyalashishga ulgurmasdanoq elektrodlanga yetib oladi.

Ionizator ta'sirida gazning birlik hajmida birlik vaqtda n juft ion vujudga keladi, deb hisoblangan edi. U holda bir-biridan l uzoqlikda joylashgan S yuzli ikki elektrod orasidagi hajm $S \cdot l$ ga teng bo'lganligi uchun, bu ikki elektrod oralig'ida Δt vaqt ichida umumiy zaryadi

$$Q = qnSl\Delta t \quad (5.7)$$

bo'lgan ionlar vujudga keladi. Bu ionlarning hammasi tok tashishda qatnashayotganligi uchun gaz orqali o'tayotgan elektr tokning qiymati to'yinish toki deyiladi va bu to'yinish tokining zichligi uchun quyidagi ifoda o'rinlidir:

$$j_{\text{to'y}} = \frac{Q}{S\Delta t} = qnl. \quad (5.8)$$



5.2-rasm

5.2-rasmida nomustaqil gaz razryadda elektr maydon kuchlanganligi qiymatiga bog'liq ravishda tok zichligining o'zgarishini tasvirllovchi grafik berilgan. Grafikning Oa qismi

kuchsiz elektr maydonga mos keladi. Bunday maydonlarda zaryad tushuvchilar kichiq tezliklar bilan harakatlanib, ko'pincha elektrodlanga yetib bormasdanoq rekombinatsiyalashadi. Lekin elektr maydon kuchaygan sari ionlar tezligi ortib ularning rekombinatsiyalashuv ehtimolligi kamayib boradi. Bu esa tokning ortishiga sabab bo'ladi. Bu sohada j va E orasidagi bog'lanish Om qonuniga bo'ysunadi, ab qismida esa j ning E ga chiziqli bog'likligi buziladi. Grafikning bu qismini oraliq soha yoki o'tish sohasi deyiladi. bs qismi to'yinish tokiga mos keladi. Maydon kuchlanganligi $E_b \leq E \leq E_c$ bo'lganda ionizator ta'sirida vujudga kelgan ionlarning hammasi tok tashishda qatnashadi. Lekin maydon kuchlanganligi E_c dan ortganda zarbdan ionlanish tufayli tok keskin ortib ketadi (rasmdagi grafigning cd qismi).

Mustaqil gaz razryad

Tashqi ionizator ta'sir qilmasa ham, nihoyat kuchli elektr maydonlar ta'sirida zaryad tashuvchilar vujudga kelishi mumkin. Zaryad tashuvchilarning vujudga kelishini ta'minlovchi asosiy jarayonlar quyidagilardan iborat:

1. **Zarbdan ionlanish.** Oddiy sharoitlardagi gazda turli sabablar tufayli vujudga kelgan elektronlar va ionlar mavjud. Lekin ularning soni nihoyat darajada kam bo'lganligi uchun oddiy sharoitlardagi gaz amalda elektr tokini o'tkazmaydi, deyish mumkin. Kuchlanganligi E bo'lgan elektr maydonga q zaryadli tok tashuvchi (ion yoki elektron) ga qE kuch ta'sir etadi. Bu kuch ta'sirida tok tashuvchi ikki ketma-ket to'qnashuv orasida erkin bosib o'tilgan l yo'lda

$$W_k = qEl \quad (5.9)$$

kinetik energiyaga erishadi. Agar bu energiya gaz molekulasining ionlanishi uchun bajarilishi lozim bo'lgan A_i ishdan katta bo'lsa, ya'ni

$$W_k \geq A_i \quad (5.10)$$

shart bajarilsa, tok tashuvchining neytral molekula bilan to'qnashishi natijasida molekula ikki qismga – erkin elektronga va musbat zaryadlangan ionga ajraladi. Bu jarayonni zarbdan ionlanish deyiladi. Yangi vujudga kelgan tok tashuvchilar ham o'z navbatida elektr maydon tomonidan tezlatiladi. Shuning uchun ular yana ionlanishiga sababchi bo'lishi mumkin. Shu tariqa gazda ionlanish nihoyat katta qiymatlarga erishadi. Bu hodisa tog'lardagi qor ko'chkisini eslatadi. Ma'lumki, qor ko'chkisining vujudga kelishiga bir siqimgina qor sababchi bo'la oladi. Shuning uchun yuqorida bayon etilgan jarayon ionlar ko'chkisi (kuyuni) deyiladi.

2. **Ikkilamchi elektron emissiya.** Gazdagi musbat zaryadli ionlar elektr maydon ta'sirida ancha katta energiyalarga erishgach, manfiy elektrodga urilishi natijasida elektroddan elektronlar ajralib chiqadi. Bu hodisani ikkilamchi elektron emissiya deyiladi.

3. **Avtoelektron emissiya.** Bu hodisa nihoyat kuchli elektr maydonlarda ($E \sim 10^8$ V/m) sodir bo'ladi. Bunda nihoyat kuchli elektr maydon metallardan elektronlarni yulib (tortib) oladi, deyish mumkin.

4. **Fotoionlanish.** Zarbdan ionlanish natijasida vujudga kelgan ion uyg'otilgan holatda bo'lishi mumkin (uyg'otilgan holatdagi sistemaning energiyasi asosiy

holatdagiga karaganda kattaroq bo'ladi). Bu ion uyg'otilgan holatdan asosiy holatga o'tayotganda qisqa to'liq o'zunlikli nur chiqaradi. Bunday nur energiyasi molekulaning ionlanishiga yetarli bo'lib qolganda fotoionlanish hodisasi ro'y beradi.

5. Termoelektron emissiya. Manfiy elektrod temperaturasi yetarlicha yuqori bo'lgan hollarda termoelektron emissiya tufayli anchagina elektronlar vujudga keladi.

Mustaqil gaz razryadlarining ba'zi turlari bilan tanishaylik. Oldin oddiy atmosfera bosimlaridagi gazlarda ro'y beradigan razryadlarni qarab chiqamiz.

1. Toj razryad. Razryadning bu turi vujudga kelganda elektrodlar yaqinida xuddi Quyosh tojiga o'xshagan nurlanish kuzatiladi. Toj razryad vujudga kelishi uchun nihoyat kuchli notekis elektr maydon mavjud bo'lishi shart. Masalan, katta kuchlanishli elektr toklarni o'tkazuvchi simlarni qaraylik. Sim va yerni kondensatorning ikki qoplamasi deb qarash mumkin. Bu kondensatordagi elektr maydon notekis bo'lib, maydon kuchlanganligi sim yaqinida juda katta qiymatga erishadi. Bu sohada gaz elektr maydon ta'sirida nihoyat intensiv ravishda ionlashadi. Shuning uchun bu sohada simni har tomondan o'rab olgan nurlanish, ya'ni mustaqil gaz razryad kuzatiladi. Bu esa elektr energiyaning isrof bo'lishiga sabab bo'ladi. Toj razryad faqat simlar atrofidagina emas, balki kuchli va notekis elektr maydon vujudga kelgan elektrodlar atrofida ham vujudga keladi. Masalan, elektrodning biror qismi egrilik radiusi kichik bo'lgan uchga ega bo'lsa, bu sohada (uchlikda) elektr zaryadning konsentratsiyasi juda ortib ketadi. Shuning uchun bu uchlik atrofida nurlanish kuzatiladi. Toj razryad kema machtlarining, daraxtlarning uchlari ham kuzatiladi. Qadim zamonlarda bu hodisalarni «avliyo Elma chiroqlari» deb atashgan.

2. Uchqunli razryad (uchqun). Kondensator qoplamalari yoki induksion g'altak cho'lg'aming ikki uchi orasidagi kuchlanish nihoyat katta ($3 \cdot 10^6$ V/m) bo'lganda gazning turtki ravishda zarbdan ionlanishi natijasida qisqa vaqtli razryad – uchqun vujudga keladi. Eng ulkan uchqun razryad – yashindir. Yashin bulutlar orasida yoki bulut bilan Yer oralig'ida katta poteptsiallar farqi vujudga kelishi natijasida paydo bo'ladi. Uchqun yaqinidagi gaz yuqori temperaturalargacha qiziydi va keskin kengayadi. Bu esa o'z navbatida tovush to'liqlarining vujudga kelishiga sababchi bo'ladi. Yashinning uzunligi 50 kilometrgacha, tok kuchi 20000 A gacha yetadi.

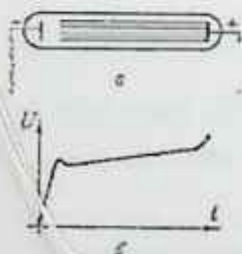
Shuning uchun ham yashin tufayli vujudga keladigan tovush, ya'ni momaqaldiroq juda kuchli bo'ladi.



5.3-rasm

3. **Yoy razryad (elektr yoyi).** Agar 5.3-rasmda tasvirlangan elektrodslarni bir-biriga tegizsak va elektr tok o'tkazsak, elektrodslarning bir-biriga tegib turgan uchlari qiziydi. So'ng ularni bir-biridan bir oz uzoqlashtiraylik. Katod bo'lib xizmat qiluvchi elektrod juda ko'p termoelektronlar chiqaradi. Bu termoelektronlar elektrodslar oralig'idagi gazni ionlashtiradi. Natijada, elektrodslar orasida yoy shaklidagi kuchli (ko'zni kamashtiradigan darajada yorug) shu'la paydo bo'ladi. Bunga elektr yoyi yoki Petrov yoyi deyiladi. Elektr yoyi uchqundan farqli o'laroq, uzluksiz davom etadi. Tajribalar asosida yoy razryad unchalik katta bo'lmagan kuchlanishlarda (~ 40 V) sodir bo'lishi aniqlandi. Lekin tok kuchi katta (~ 3000 A) bo'lishi mumkin. Elektrodslarning temperaturalar ($2500-4000$) $^{\circ}\text{C}$ gacha ko'tariladi. Temperaturaning bu qadar ko'tarilishi metallarni elektr payvandlashda, kuchli yoruglik tarqatilishi esa yoy lampalarda foydalaniladi.

Endi siyraklashtirilgan gazlarda kuzatiladigan razryad bilan tanishaylik. 5.4a-rasmda tasvirlangan shisha naychani ikki tomoniga metall elektrodslar kavsharlangan. Bu naycha ichidagi gaz bosimi $0,1$ mm simob ustuniga, elektrodslarga berilgan kuchlanish bir necha yuz voltga teng bo'lganda naychadagi gazda mustaqil razryad kuzatiladi. Razryad tuzilishining mayda tafsilotlari bilan qiziqmay, uni ikki qismdan iborat deb ko'rishimiz mumkin. Katodga yaqin joylashgan nurlanish sodir bo'lmayotgan sohani katod qorong'i fazosi deyiladi. Razryadning qolgan (anodgacha davom etgan) qismida miltillagan nurlanish kuzatiladi.



5.4-rasm

Razryadning bu qismini nurlanuvchi anod ustuni deyiladi. Yorqin razryad deb nomlangan bu razryadda katod hamma vaqt sovuqligicha qoladi. U holda ionlar qanday vujudga keladi? Bu savolga javob berish uchun katod bilan anod oralig'idagi nuqtalarda potentsialning o'zgarishi bilan tanishaylik. 5.4b-rasmda katod va naycha ichidagi tekshirilayotgan nuqta orasidagi

kuchlanish U ning katoddan ushbu nuqtagacha bo'lgan masofa l ga bog'liqlik grafigi

tasvirlangan. Bu grafikdan ko'rinishicha, potentsialning asosiy tushuvi katodning qorong'i fazosiga to'g'ri keladi. Shuning uchun ham uni katod potentsial tushuvi deb ataladi. Katod tomon tortilayotgan musbat ionlar bu sohada katta energiyalarga erishadi va katodga urilgach, undan bir necha elektron ajralib chiqishiga sababchi bo'ladi. Bu elektronlar o'z navbatida anod potentsiali ta'sirida tezlashib gaz molekulalari bilan to'qnashganda zarbdan ionlanishni vujudga keltiradi. Vujudga kelgan yangi ionlar yana katod tomon intiladi, katod potentsiali ta'sirida yana tezlashadi, katoddan elektronlarni urib chiqaradi va hakoza. Demak, elektrodlar oralig'ida kuchlanish mavjud bo'lsa, razryad uzluksiz davom etaveradi. Shuni ham qayd qilib utamizki, fanda elektronlar bilan birinchi tanishuv yuqorida bayon etilgan tajribadagi katoddan ajralib chiqayotgan elektronlar oqimni tekshirish natijasida ro'y bergan. Shuning uchun bu elektronlar oqimi katod nurlari deb atalgan. Katoddan elektronlarni urib chiqarayotgan musbat ionlar esa anod nurlari deb atalgan.

Naychadagi gazni o'zgartirganda nurlanishning rangi ham o'zgaradi. Masalan, neon – qizil, argon – ko'kish, geliy – sariq rangdagi nurlanish beradi. Yorqin razryadning bu xususiyatlaridan kunduzgi yoruglik lampalarida, vitrinalarni yoritish, bezash maqsadlarida foydalaniladi.

Plazma va uning xossalari

Yuqori darajada ionlashgan, lekin kichik makroskopik hajmda elektroneytral bo'lgan gaz plazma deb ataladi. Agar gazning barcha molekulalari ionlashgan bo'lsa, ya'ni ionlashganlik darajasi birga teng bo'lsa, to'liq ionlashgan plazma deyiladi. Boshqa hollarda qisman ionlashgan plazma bilan ish ko'rilyotgan bo'ladi. Plazmani ikki usul bilan hosil qilish mumkin:

1. O'ta yuqori temperaturalargacha qizdirilgan gaz molekulalari o'zaro tuqnashuv tufayli ionlanish sodir bo'ladi. Masalan, $T \geq 10000 \text{ K}$ da har qanday jism plazma holatida bo'ladi. Barcha yulduzlar, xususan Quyosh ham, ana shunday yuqori temperaturali plazmadan iboratdir.

2. Gazdan elektr tok o'tishi (elektr razryad) jarayonida ham plazma hosil bo'ladi. Gaz razryadli plazma elektronlar va ionlar gaz razryadini vujudga keltirayotgan elektr tok manbaidan doimo energiya olib turadi. Natijada ionlar va elektronlarning

temperaturalari keskin farq qiladi, chunki elektronlar elektr maydonda ko'proq tezlashadi. Masalan, yorqin razryadda elektronlar temperaturasi ~10000 K bo'lsa, ionlar temperaturasi ~2000 K dan oshmaydi.

Yerning ionosferasidagi plazma Quyosh nurlanishi tufayli atmosferadagi gaz molekularining fotoionlashuvi natijasida vujudga keladi. Shuning uchun plazmaning bu turi gaz razryadli plazmadan farq qiladi. Plazma zarralari, xuddi oddiy gaz molekulariga o'xshash betartib harakatda bo'ladi. Lekin neytral molekulalardan tashkil topgan oddiy gazdan farqli ravishda plazma radioto'lqinlarni qaytaradi. Buning sababi plazmaning elektromagnit maydon bilan ta'sirlashuvidir.

Plazmaning eng asosiy xususiyati – uning kvazineytralligidir. Kvazineytrallik tushunchasi bilan elektronlar va bir xil ionlardan iborat bo'lgan plazma misolida tanishaylik. Bunday plazmada elektronlarning issiqlik harakati tezliklari ionlarnikidan kattaroq bo'ladi. Shuning uchun elektronlar plazmadan tezroq chiqib ketishi va natijada plazmada ionlar miqdorining ortib ketishi tufayli elektr maydon vujudga kelishi lozim edi. Lekin plazmada katta elektr maydonlar vujudga kelmas ekan. Buning sababi quyidagida: plazmaning biror qismida ionlarning to'planib qolishi natijasida vujudga kelgan elektr maydon chiqib ketayotgan elektronlarga tormozlovchi ta'sir ko'rsatadi, so'ng ularni orqasiga qaytaradi. Shu tarzda elektronlarning tebranma harakati vujudga keladi. Bu tebranishlarning chastotasi va amplitudasini aniqlaylik.

Zichligi n_e bo'lgan elektronlarning x masofaga siljishi natijasida vujudga kelgan elektr maydon (bu maydonni birinchi yaqinlashuvda yassi kondensator plastinkalari oralig'idagi elektr maydonga o'xshatsa bo'ladi) kuchlanganligi

$$E = \sigma / \epsilon_0 = \frac{en_e x}{\epsilon_0} \quad (5.11)$$

ga teng bo'ladi. Bu maydonda elektronga

$$F = eE = - \frac{e^2 n_e x}{\epsilon_0} \quad (5.12)$$

kuch ta'sir etadi. Bu kuch miqdor jihatdan siljishga proportsional va siljish yo'nalishiga qarama-qarshi yo'nalgan. U garmonik tebranishlarni vujudga keltiruvchi

kvazielastik kuch ($F=-kx$) ga o'xshashdir. Shuning uchun bu kuch ta'sirida elektron oldinga va orqaga

$$\omega_{pi} = \sqrt{\frac{e^2 n_e}{\epsilon_0 m_e}} \quad (5.13)$$

chastota bilan harakat qiladi. Bu harakatni plazma tebranishlari, ω_{pi} ni esa plazma chastotasi yoki Lengmyur chastotasi deyiladi. Albatta, elektronlar bilan ionlar to'qnashuvi natijasida elektronlarning tebranma harakati so'nadi.

Plazma tebranishlari sodir bo'ladigan masofani quyidagi mulohazalar asosida aniqlaymiz: elektr maydonda x masofaga siljigan elektron

$$A = F \cdot x = \frac{e^2 n_e x^2}{\epsilon_0} \quad (5.14)$$

ish bajaradi. Bu ish shu elektron kinetik energiyasining o'rtacha o'zgarishi (taxminan kT_e ga teng) hisobiga bajariladi. Shuning uchun

$$\frac{e^2 n_e x^2}{\epsilon_0} = kT_e.$$

Bundan

$$x^2 = \frac{\epsilon_0 kT_e}{e^2 n_e} \quad (5.15)$$

Bu ifoda issiqlik harakati tufayli plazmada zaryadlar fazoviy ajraladigan masofaning maksimal qiymatini aniqlaydi. Odatda, uni Debay radiusi (λ_D) deb ataladi:

$$\lambda_D = \sqrt{\frac{\epsilon_0 kT_e}{e^2 n_e}} \quad (5.16)$$

Shunday qilib, Debay radiusi zaryadlarning fazoviy ajralish masshtabini, plazma chastotasi esa zaryadlarning ajralmagan holatga qaytish davrini, ya'ni plazmaning zaryad jihatdan neytralligini tiklash davrini xarakterlaydi. Bu ikki kattalik plazmaning asosiy xarakteristikalarini hisoblanadi.

Xulosa qilib aytganda, elektronlar va ionlardan iborat gazni, bu gaz egallagan hajmning chiziqli o'lchamlari Debay radiusidan katta bo'lgandagina (faqat shu holdagina kvazineytrallik sharti bajariladi) plazma deb atash mumkin. Hozirgi vaqtda plazmadan

ikki yo'nalishda foydalanish mo'ljallanmoqda: 1) Boshqariluvchi termoyadro reaksiyalarida; 2) Magnitogidrodinamik generatorlarda (MGDG).

Nazorat savollari

1. Vakuumda elektr toki hosil bo'lishi.
2. Termoelektron emissiya hodisasi.
3. Elektronlarning metallardan chiqish ishi.
4. Metall vakuum chegarasidagi kontakt potentsiallar ayirmasi.
 5. Ikki elektrodli lampaning ishlash printsipini tushintiring.
 6. Ikki elektrodli lampaning voltamper xarakteristikasini tushintiring.
 7. Boguslavskiy-Lengmyur qonuni voltamper egri chizig'ining qaysi qismiga to'g'ri kelishini ko'rsating.
 6. To'yinish toki. To'yinish tokining katod temperaturasi bog'liqligi.
 7. To'yinish tokining zichligi. Richardson-Deshman formulasi.
 8. Metallarda elektr toki. Metallar klassik elektron nazariyasida Om qonunini tushintirilishi.
 9. Videman-Frants qonuni.

Mustaqil shug'ullanish uchun savol va masalalar

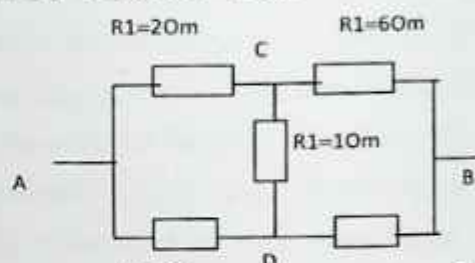
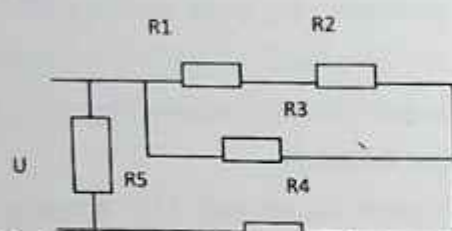
- 5.1. Qarshiligi 20 Om va uchlaridagi kuchlanish 12 V bo'lgan o'tkazgich ko'ndalang kesimi orqali 30 s da qancha elektr miqdori o'tadi? Elektr tokining ishini aniqlang.
- 5.2. Cho'g'lanma lampa tsokoliga 250 V, 25 W deb yozilgan. Shu lampochkaning qarshiligi nimaga teng?
- 5.3. Agar ampermetr va voltmeter ko'rsatishlari o'zgarmas va mos ravishda 50 A va 220 V ga teng bo'lsa, generator 8 soatda tashqi zanjirga qancha energiya beradi? javobni joul va kilovatt-soat hisobida ifodalang.
- 5.4. Elektr hisoblagich 0981 kW·soatni ko'rsatadi. Yuklama uchta 100 W li, ikkita 60 W li va to'rtta 15 W li chiroqlardan tashkil topgan. Agar chiroqlar har kuni 10 soatdan

yoqilsa, hisoblagich 30 kunda qancha energiya sarfini ko'rsatadi? 1 kW·soat elektr energiya narxi 4 tiyin bo'lsa, sarflangan energiya uchun qancha to'lash kerak?

5.5. Elektr dvigatel 15 A tok kuchida o'zgarmas 220 V kuchlanishli tarmoqda ishlaydi va 3 kW quvvatga erishadi. Qurilmaning FIK ni va ta'rif bo'yicha 1 kW·soat 4 tiyin bo'lganda 8 soatda sarflangan elektr energiyani aniqlang.

5.6. Agar bitta tarmoqdagi tok kuchi 50 A, tarmoqdagi kuchlanish esa 220 V bo'lsa, ikkita parallel ulangan elektr dvigatelning 8 soat ishlaganda sarflangan energiyasini aniqlang.

5.7. Sxemasi 5.11-rasmda berilgan zanjirdagi elektr tokining quvvatini aniqlang. Bu yerda, $U=12\text{ V}$, $R_1=7\text{ Om}$, $R_2=5\text{ Om}$, $R_3=4\text{ Om}$, $R_4=9\text{ Om}$, $R_5=4\text{ Om}$.



5.8. Beshta rezistor 5.12-rasmda ko'rsatilgandek qilib, $R_1=20\text{ Ohm}$, $R_2=20\text{ Ohm}$, $R_3=10\text{ Ohm}$, $R_4=60\text{ Ohm}$, $R_5=60\text{ Ohm}$ kuchlanishli tarmoqda. Zanjirning umumiy qarshiligini, C va D nuqtalaridagi potentsiallar farqini, beshinchi rezistordagi tok kuchini va zanjirdan o'tayotgan tok quvvatini aniqlang.

5.9. Elektr tok tashigich har birining EYuK 1,1 V bo'lgan ketma-ket ulangan 22 ta ishqorli akkumulyatorlar batareyasidan ta'minlanib ishlaydi. Nagruzka bilan ishlaganda dvigatel 1,2 kW quvvatga erishadi. Agar batareya ichidagi va simlardagi kuchlanish tushishi 2,2 V ga teng deb olinsa, zanjirdagi tok kuchini aniqlang.

5.10. Oltita vagondan tashkil topgan metropoliten poyezdi erishadigan quvvatni aniqlang. Har bir vagon dvigatellari ikkitadan ketma-ket qilib ikki parallel gruppalariga ulangan. Tarmoqdagi kuchlanish 750 V, har bir zanjirdagi tok kuchi esa 150 A.

5.11. Agar to'rtta cho'g'lanma lampa 120 V kuchlanishli tarmoqqa: a) parallel b) ketma-ket v) ikki parallel gruppaga ikkitadan ketma-ket ulangan bo'lsa, 8 soatda sarf bo'lgan energiyani aniqlang. Lampaning qarshiligi 120 Om.

5.12. Cho'g'lanma lampochkaning qarshiligi ishlab turgan vaqtda 360 Om . Tarmoqdagi kuchlanish 220 V . Agar barcha lampalar iste'mol qiladigan quvvat $2,15 \text{ kW}$ ga teng bo'lsa, tarmoqqa nechta lampa parallel ulangan? Ulovchi simlar qarshiligini hisobga olmang.

5.13. Elektr yuklagich massasi 500 kg bo'lgan yukni o'zgarmas tezlik bilan 2 m balandlikka ko'tarmoqda. Dvigatel 41 A tok kuchida 24 V EYuK li akkumulyatorlar batareyasi bilan ishlaydi. Qurilmaning FIK 80% . Tezlikni va bir marta ko'tarish vaqtini aniqlang. Batareyaning ichki qarshiligini hisobga olmang.

5.14. Tramvay vagoni yo'lining gorizontallik qismida tekis harakatlanganda dvigatel 2 kN tortish kuchiga erishadi. Elektr dvigatellar kollektor plastinalaridagi kuchlanish 550 V , zanjirdagi tok kuchi 80 A , FIK 80% . Tramvay vagonining tezligini aniqlang.

5.15. Birday quvvatli ikkita plita bor: biri 127 V ga, ikkinchisi esa 220 V ga mo'ljallangan. Ularning qaysi biri spirali yo'g'onroq?

5.16. Vagonni isitish uchun parallel ulangan har birining qarshiligi 275 Om bo'lgan 8 ta elektr pech joylashtirilgan. Pechlar klemmalaridagi kuchlanish 550 V . Pechlar 18 soat ishlaganda bergan issiqlik miqdorini aniqlang. Energiya isrofini hisobga olmang.

5.17. 600 W quvvatli elektr samovar $1,5 \text{ l}$ suvni 20 minutda 283 K temperaturadan qaynash temperaturasigacha isitadi. Somovarning FIK ni va sarflagan energiya narxini hisoblang.

5.18. Qarshiligi 1 va 4 Om bo'lgan ikkita rezistor navbatma-navbat elektr energiya manbaiga ulanganda, ular bir xil quvvat iste'mol qiladi. Energiya manbaining ichki qarshiligini aniqlang.

5.19. Agar elektr energiya manbai 10 A tok kuchida tashqi zanjirda 230 W quvvatni, 15 A tok kuchida esa $337,5 \text{ W}$ quvvatni hosil qilsa, uning EYuK ni va ichki qarshiligini aniqlang.

5.20. Elektr dvigatel 220 V kuchlanishli elektr energiya manbaiga ulanadi. Dvigatel cho'lg'aming qarshiligi $1,8 \text{ Om}$, iste'mol qilinadigan tokning kuchi esa 12 A . Iste'mol qilinadigan quvvatni va elektr dvigatel FIK ni aniqlang.

5.21. Elektr kstryulning qizdiruvchi elementi ikkita sektsiyaga ega. Agar ikkala sektsiya ketma-ket ulansa, u holda kstryuldagi suv 27 minutda, agar ular parallel

ulansa, suv 6 minutda qaynaydi. Bitta sektsiya 4 Om qarshilikka ega. Ikkinchi sektsiyaning qarshiligi qanday? Energiya isrofini hisobga olmang.

5.22. Suv qaynatgich elektr asbob spiralining qarshiligi 1000 C haroratda 22 Om. 1000 C haroratdagi 360 g suvni 6 minutda bug'ga aylantirish uchun bu spiral orqali qancha tok o'tkazish kerak? Suvning solishtirma bug'lanish issiqligi 2200 kJ/kg.

5.23. Ichki qarshiligi 0,1 Om va EYuK 240 V bo'lgan generatordan elektr energiya iste'molchisigacha bo'lgan masofa 50 m. Agar iste'mol quvvati 22 kW bo'lib, 220 V kuchlanishga mo'ljallangan bo'lsa, tok keltiruvchi simlar uchun qancha mis kerak bo'ladi?

MUHITLARDA ELEKTR TOKI

Asosiy tushunchalar va formulalar.

Elektrolitdagi elektr tokining zichligi:

$$j = n_+ q_+ \vartheta_+ + n_- q_- \vartheta_-$$

bu yerda, n_+ va n_- , q_+ va q_- , ϑ_+ va ϑ_- - musbat va mafiy ionlarning mos ravishda konsentratsiyalari, zaryadlari va tartibli harakatining tezliklari.

Elektroliz uchun Faradeyning birinchi qonuni:

$$m = kq = kI\Delta t$$

bu yerda, m - elektroliz vaqtida elektrodda ajralib chiqqan modda miqdori, I - tok kuchi, Δt - tokning o'tish vaqti, k - moddaning elektrokimyoviy ekvivalenti.

Elektroliz uchun Faradeyning ikkinchi qonuni:

$$k = \frac{1}{F} \cdot \frac{\mu}{n}; \quad F = eN_A = 96485 \frac{C}{mol}$$

bu yerda, F - Faradey doimiysi, e - elektron zaryadi, N_A - Avagadro doimiysi, μ - moddaning molyar massasi, n - valentligi.

SAVOL VA MASALALAR

5.24. Ikkita elektrolitik vanna ketma-ket ulangan va o'zgarmas tok manbaiga tutashtirilgan. Birinchi vannada nikel sulfat ($NiSO_4$) eritmasi, ikkinchisida esa xrom

II-xlorid (CrCl_2) eritmasi bor. Agar vannalardan birida 300 g nikel ajralgan bo'lsa, boshqasida qancha xrom ajralgan?

5.25. Ketma-ket ulangan ikkita elektrolitik vannada mis sulfat eritmasi (CuSO_4) va mis xlorid (CuCl) eritmasi bor. Har bir vannada 1 C elektr miqdori o'tsa, har bir vannada qancha mis ajraladi?

5.26. O'quvchi misning ximiyaviy ekvivalentini aniqlash bo'yicha laboratoriya ishi oldidan uni $k = MF_n$ formula orqali nazariy hisobladi. Agar mis sulfat eritmasi 1 A tok kuchida elektroliz qilingan bo'lsa, 15 minutda katod massasi qanchaga oshishi kerak? Misning valentligi 2 ga teng.

5.27. O'quvchi misning elektrokimyoviy ekvivalentligini aniqlash uchun 20 minut mobaynida 1,5 A tok kuchida mis sulfat eritmasini elektroliz qiladi. Bu vaqtda katodning massasi 600 mg ga ortdi. Misning topilgan elektrokimyoviy ekvivalenti nimaga teng? O'lchashlarning absolyut va nisbiy xatoligi jadval qiymatlariga nisbatan qanday?

5.28. Elektroliz 1,5 A tok kuchida 20 minut davom etdi. Bu vaqtda katodda 594 mg modda ajraladi. Bu qanday modda?

5.29. Elektroliz jarayonida katodda 503 mg metall ajraldi. Jarayon 1,5 A kuchida 5 minut davom etdi. Bu metall qanday metall va uning valentligi qancha?

5.30. Bir, ikki va uch valentli ionlarning zaryadi qanchaga teng?

5.31. Oltin va kumushning valentligi mos ravishda 1 va 3. Ularning elektrokimyoviy ekvivalentlarini aniqlang.

5.32. Kumush nitrat eritmasini 1 A tok kuchida 1 soatda elektroliz qilganda katodda qancha kumush atomlari ajraladi?

5.33. Misni rafinlash vanna klemmlaridagi 0,3 V kuchlanish ostida amalga oshirildi. Agar elektrolit qarshiligi $3 \cdot 10^{-5}$ Om bo'lsa, 1 soatda katoddan qancha mis ajraladi? Mis ikki valentli.

5.34. Alyuminiy olish uchun 6 V kuchlanishda eritilgan loy-tuproqli kriolit orqali 50 A tok kuchi o'tkaziladi. Elektrolitning qarshiligini va olingan har bir tonna alyuminiy uchun sarflangan elektr energiyani hisoblang.

- 5.35. Misni rafinlashda katodlar elektrolitik vannalar 10 sutka uzluksiz ishlagandan so'ng almashtiriladi. Bu vaqtda har bir elektrodda 71 kg mis yig'iladi. Agar katodning yuzi $0,9 \text{ m}^2$ bo'lsa, tok zichligini aniqlang.
- 5.36. Temir xlorid FeCl_3 eritmasi elektroliz qilinganda undan $5 \cdot 10^4 \text{ C}$ elektr miqdori o'tdi. Bunda qancha temir va xlor ajraladi? Qaysi elektroddan xlor ajraladi? Nima uchun?
- 5.37. Soat korpusiga galvanik usulda $0,1 \text{ A/dm}^2$ tok zichligida 12 mkm qalinlikdagi oltin qatlami qoplash uchun qancha vaqt kerak bo'ladi?
- 5.38. Avtomobil faralari qaytargichining qaytarish xususiyatini orttirish uchun elektroliz yordamida 10 mkm qalinlikda kumush qatlami qoplanadi. Buyumda kerakli qalinlikdagi qatlam hosil bo'lishi uchun $0,3 \text{ A/dm}^2$ tok zichligida kumush nitrat eritmasini elektroliz qilish qancha vaqt davom etishi kerak?
- 5.39. Elektrolitik yo'l bilan 100 kW-soat energiya sarflab qancha alyuminiy olish mumkin? Elektroliz 6 V kuchlanish ostida boradi? Qurilmaning FIK 80%.
- 5.40. Agar mis sulfat eritmasi $0,3 \text{ A}$ tok kuchida elektroliz qilingan bo'lsa, o'lchamlari $50 \times 10 \times 1 \text{ mm}$ bo'lgan mis anod qancha vaqtda to'la sarf bo'ladi?
- 5.41. Buyumni elektrolitik yo'l bilan nikellash $0,8 \text{ A/dm}^2$ tok zichligida o'tkazildi. Nikel qatlamining o'sish tezligini aniqlang. Birikmadagi nikelning valentligi 2.
- 5.42. Kislotali suvni 50 minutda elektroliz qilib, $0,13 \text{ MPa}$ bosimda $0,5 \text{ l}$ vodorod olindi. Agar zanjirdagi tok kuchi $1,6 \text{ A}$ bo'lsa, vodorodning temperaturasi aniqlang.
- 5.43. Agar kumush nitrat eritmasidan elektr zaryad o'tganda tok kuchi 1 A dan 4 A gacha ortsa, undan 20 s da qancha elektr zaryad o'tadi?
- 5.44. Agar kuchsiz kislotali suvni elektroliz qilish 25 minut davom etgan bo'lsa va bu vaqtda $0,5 \text{ g}$ kislorod ajralsa, sarf bo'lgan tok quvvatini aniqlang. Elektrolit qarshiligi $1,8 \text{ Ohm}$ va vaqt o'tishi bilan o'zgarmaydi.
- 5.45. Kumush nitrat eritmasida elektr toki zichligi qanday bo'lganda kumush qalinligi $3 \cdot 10^{-3} \text{ mkm/s}$ tezlikda o'sadi?
- 5.46. Agar elektroliz 10 minut davom etsa, tok zichligi esa 5 A/m^2 bo'lsa, katodning 1 m^2 sirtidan bir valentli metallardan qancha atom ajraladi?

- 5.47. Nikel sulfat eritmasini 40 minut elektroliz qilganda katodda 2,19 g nikel ajraldi. Agar vanna klemmalaridagi kuchlanish 5 V, eritmaning qarshiligi esa 1,4 Om bo'lsa, qutblanish EYuK ni aniqlang.
- 5.48. Kunduzgi yorug'lik lampalarida qaysi turdagi razryad bo'ladi? Bu razryadda qanday zarralar zaryad tashuvchi bo'lib xizmat qiladi?
- 5.49. Elektron lampalar katodining sirti qanday maqsadda metallar bilan, masalan, bariy va strontsiy bilan qoplanadi?
- 5.50. Elektron dastasini qanday qilib boshqarish mumkin? Televizor kineskopida bunga qanday erishiladi?
- 5.51. Diodda elektron anodga 8 Mm/s tezlik bilan keladi. Anod kuchlanishini aniqlang.
- 5.52. Televizion kineskopda anoddagi tezlantiruvchi kuchlanish 16 kV ga teng, anoddan ekrangacha bo'lgan masofa 30 sm. Elektronlar bu masofani qancha vaqtda o'tadi?
- 5.53. Agar kumush atomlarini ionlash uchun 6,9-10-19 J energiya talab qilinsa, uning ionizatsiya potensialini aniqlang.
- 5.53. Agar televizor trubkasining anod va katodi orasidagi kuchlanish o'zgarganda elektronning energiyasi 700 dan 1000 eV gacha o'zgarsa, elektronlar tezligi qanday o'zgaradi? Ikkala hol uchun bu tezlik qanday bo'ladi?
- 5.54. Katod nurlari hosil qilishda razryad trubkasi elektrodlariga 30 kV kuchlanish berildi. Katod nurlari dastasida elektronlarning maksimal tezligini aniqlang.
- 5.55. Ikki elektrodli elektron lampa katodi va anodiga 300 V potentsiallar ayirmasi qo'yilgan. Agar lampa katodi va anodi orasidagi masofa 10 mm bo'lsa, undagi elektronlarning tezligini va ularning harakatlanish vaqtini aniqlang.
- 5.56. Bariy oksididan elektronlarning chiqish ishi 1,0 eV ga teng. Yassi kondensatorida elektronlar bariy atomini ionlashi uchun elektronlarning erkin yugurish yo'li o'rtacha uzunligi qanday bo'lishi kerak? Kondensator plastinalari orasidagi maydon kuchlanganligi $3 \cdot 10^5$ V/m. Maydonni bir jinsli deb hisoblang.
- 5.57. Elektron nur trubkasida potentsiallar farqi $U=5$ kV bo'lgan maydon ttezashtiradigan elektronlar oqimi uzunligi $x=5$ sm bo'lgan vertikal og'diruvchi fazoga

tushadi. Bu plastinkalar orasidagi maydon kuchlanganligi $E=40$ kV/m. Plastinkalar orasidagi fazodan chiqishida nurning vertikal siljishi u ni toping.

5.58. Sof yarim o'tkazgichda qanday harakatchan zaryad tashuvchilar bor?

5.59. Sof yarim o'tkazgichlarda teshiklar va erkin elektronlar qanday nisbatda bo'ladi?

Bu nisbat aralashmali yarim o'tkazgichlarda ham o'rinli bo'ladimi?

5.60. Agar germaniyga ozgina miqdorda fosfor qo'shilsa, unda qanday tipdagi o'tkazuvchanlik hosil bo'ladi? Rux qo'shilsa-chi? Surma qo'shilsa-chi?

5.61. Kremniy va germaniyni o'tkazuvchanligi temperatura pasayishi bilan qanday o'zgaradi?

5.62. Agar temperatura 0 dan 175°C gacha ortganda elektronlar tezligi 0,5 dan 0,75 m/s gacha ortsa, elektronlar kontsentratsiyasi esa $1,3 \cdot 10^{14}$ dan $2,1 \cdot 10^{18} \text{ m}^{-3}$ gacha ortsa, yarim o'tkazgichda tok zichligi necha marta o'zgaradi?

5.63. Berilgan temperaturada yarim o'tkazgichda erkin elektronlarning yo'nalgan ko'chish tezligi 0,25 m/s. Agar 100 V/m maydon kuchlanganligida tokning zichligi $4 \cdot 10^{-2} \text{ A/m}^2$ bo'lsa, zaryadlar harakatchanligini va ulning kontsentratsiyasini aniqlang.

5.64. Termistor nima? Nima uchun ularni chiziqli bo'lmagan qarshiliklar deyiladi?

5.65. Termistor va fotorezistor bir-biridan nima bilan farq qiladi?

5.66. Tranzistor nima? Tranzistor kristalida qanday sohalar bor?

5.67. Emitter, baza va kollektor toklari orasida qanday nisbat o'rinli?

ELEKTROMAGNETIZM

Asosiy tushunchalar va formulalar

Magnit maydon induksiya vektori. Tokli yassi konturning magnit momenti:

$$B = \frac{\mu}{IS}, \quad \left(\frac{\text{N}}{\text{A} \cdot \text{m}} = \text{T} \right).$$

$$\vec{p}_M = IS \vec{n}; \quad \vec{p}_M = IS;$$

bu yerda, M -aylantiruvchi moment yoki kuch momenti, I -konturdagi tokning kuchi, S -kontur yuzi, $\vec{n}$ -kontur tekisligi normalining birlik vektori. $\vec{n}$ ning yo'nalishi tokning yo'nalishi bilan o'ng parma qoidasi orqali bog'langan.

Amper qonuni-tokli o'tkazgichning Δl -uzunlikli to'g'ri qismiga magnit maydon tomonidan ta'sir qiluvchi kuch :

$$F = B I \Delta l \sin \alpha ,$$

bu yerda, I-tok kuchi, B-magnit maydonning o'tkazgichning Δl uzunlikli qismi joylashgan joyidagi induksiya, α -tok yo'nalishi bilan magnit induksiya vektori $\vec{B}$ orasidagi burchak.

Bir jinsli magnit maydondagi tokli yassi konturga ta'sir etuvchi kuch momenti:

$$\vec{M} = I S [\vec{n} \vec{B}] = \vec{p}_m [\vec{n} \vec{B}] ; M = I S B \sin \alpha = \vec{p} B \sin \alpha ,$$

bu yerda, α - $\vec{n}$ va $\vec{B}$ vektorlar orasidagi burchak.

Lorens kuchi-harakatlanayotgan q zaryadli zarrachaga magnit maydon tomonidan

ta'sir qiladigan kuch:

$$F_A = |q| \mathcal{B} \sin \alpha ,$$

bu yerda, α -tezlik vektori $\vec{g}$ bilan magnit induksiya vektori $\vec{B}$ orasidagi burchak.

Induksiya $\vec{B}$ bo'lgan bir jinsli magnit maydonda induksiya chiziqlariga tik ravishda

$\vec{g}$ tezlik bilan harakatlanayotgan q zaryadli va m massali zarracha trayektoriyasining egrilik radiusi r va zarrachaning aylanish davri T:

$$r = \frac{m g}{|q| B} ; T = \frac{2 \pi m}{|q| B} .$$

Bir jinsli muhitdagi magnit induksiya

$$B = \mu B_0 ,$$

bu yerda, B_0 - vakuumda o'sha nuqtadagi magnit induksiya, μ -muhitning magnit singdiruvchanligi.

Amper qonuni-ikkita parallel, cheksiz uzun tokli o'tkazgichlarning Δl uzunligiga to'g'ri keladigan o'zaro ta'sir kuchi:

$$F = \frac{\mu_0 \mu I_1 I_2}{2 \pi r} \Delta l ,$$

bu yerda, l_1 va l_2 -o'tkazgichlardagi tok kuchlari, r -o'tkazgichlar orasidagi masofa, $\mu_0=4\pi\cdot 10^{-7}$ N/A²-magnit doimiysi. (Bu formula HBC birliklar sistemasida o'rinli).

To'g'ri tok maydonining magnit induksiya va kuchlanganligi:

$$B = \frac{\mu_0 \mu I}{2\pi \cdot R}, \quad H = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{I}{R}$$

bu yerda, R-berilgan nuqtadan tokli o'tkazgichgacha bo'lgan masofa.

Tokli doiraviy o'tkazgichning markazidagi magnit induksiya va kuchlanganligi:

$$B = \frac{\mu_0 \mu I}{2R}, \quad H = \frac{I}{2R}$$

bu yerda, R-o'tkazgich hosil qilgan aylananing radiusi.

Tokli solenoid o'zagidagi magnit maydonning induksiya va kuchlanganligi:

$$B = \mu_0 \mu I n = \mu_0 \mu I \frac{N}{l}; \quad H = I n = I \frac{n}{l}$$

Bunda, l-solenoiddan o'tayotgan tokning kuchi, $n = \frac{N}{l}$ -solenoidning usunlik birligiga mos kelgan o'ramlar soni, l-solenoidning uzunligi, N-o'ramlar soni.

Tokli toroid (markaslari aylana bo'ylab joylashgan bir xil aylana o'tkazgichlar sistemasi) o'zagidagi magnit maydonning induksiya va kuchlanganligi:

$$B = \mu_0 \mu I n = \mu_0 \mu I \frac{N}{2\pi R}; \quad H = I n = I \frac{N}{2\pi R}$$

Bunda, R-toroid o'qining egrilik radiusi.

Bir necha tokning birgalikda hosil qiladigan maydonning magnit induksiya (superpozitsiya prinsipi):

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3 + \dots + \vec{B}_N,$$

bu yerda, $B_1, B_2, B_3, \dots, B_N$ -mos ravishda 1,-2,-3,-...,N-toklar magnit maydonining induksiyalari.

Magnit maydon induksiya B bilan kuchlanganligi H orasidagi munosabat:

$$B = \mu_0 \mu H; \quad H = B / \mu_0 \mu$$

S sirt orqali magnit maydon oqimi (magnit induksiya vektori oqimi):

$$\Phi = BS \cos \alpha,$$

bu yerda, α -magnit induksiya vektori $\vec{B}$ bilan yuzaning musbat normali orasidagi burchak.

O'zgarmas I tokli kontur tashqi magnit maydonda ko'chirilganda Amper kuchlari tomonidan bajariladigan ish:

$$A = I(\Phi_2 - \Phi_1) = I\Delta\Phi,$$

bu yerda, Φ_1 va Φ_2 -kontur orqali ko'chishning boshidagi va oxiridagi magnit oqimlari, $\Delta\Phi$ -magnit oqimining o'zgarishi.

Masala yechish namunalari.

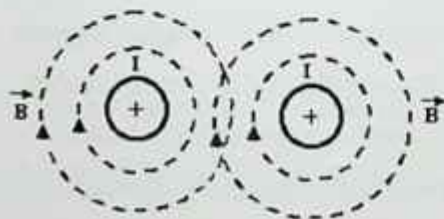
1-masala. Bir-biridan 30 sm masofada joylashgan ikkita parallel sim bo'yicha bir xil yo'nalishda o'zgarmas tok o'tadi. Sim mahkamlangan tayanchlar orasidagi masofani(simlarning uzunligi) 50 m. Simlardagi tok kuchi 150 A. Simlarning o'zaro ta'sir kuchi modulini va yo'nalishini aniqlang.

Berilgan: $I_1=I_2=I=150$ A - har bir simdagi tok kuchi; $a=0,3$ m-simlar orasidagi masofa; $l=50$ m-tayanchlar orasidagi masofa; jadvaldan: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ N/m²-magnit doimiysi; $\mu=1$ -havoning magnit singdiruvchanligi.

Topish kerak: F-simlarning o'zaro ta'sir kuchini (moduli va yo'nalishini).

Yechilishi. Simning aktiv qismi uzunligi sifatida tayanchlar orasidagi masofani qarab chiqamiz. $l \gg a$ ni hisobga olib, simni cheksiz uzun deb hisoblash mumkin, u holda o'zaro ta'sir kuchini quyidagi formuladan topamiz:

$$F = \mu_0 \mu \frac{I^2 l}{2\pi a}; \quad F = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m} \cdot 1 (150 \text{ A})^2 50 \text{ m}}{2\pi \cdot 0,3 \text{ m}} = 0,75 \text{ N}.$$



5.1- rasm

Simlarga ta'sir etuvchi kuchning yo'nalishini aniqlash uchun 5.1-rasmdan foydalanamiz. Simlar orasida(ichki tomonda) magnit maydon zaiflashadi (induksiya chiziqlari bir-biriga qarab yo'nalgan), tashqi tomonda ikkala simning maydon induksiya chiziqlari bir xil yo'nalishga ega-bu yerda maydon kuchaygan, demak, bir xil yo'nalgan tokda simlar o'zaro tortishishi kerak.

Javob. Simlarning o'zaro tortishish kuchi 0,75 N ga teng.

2-masala. Uzunligi 0,5 m bo'lgan simga undagi tok kuchi 4 A bo'lganda, induksiya chizig'i bilan 90° burchak hosil qilganda bir jinsli maydon 2,8 N kuch bilan ta'sir qiladi. 30° burchakda o'sha maydon o'tkazgichga qanday kuch bilan ta'sir qiladi?

Berilgan: $l=0,5$ m-simning uzunligi; $I=4$ A-simdagi tok kuchi; $F=2,8$ N-burchak 90° bo'lgandagi Amper kuchi; $\alpha_1=90^\circ$, $\alpha_2=30^\circ$ -birinchi va ikkinchi holatlarda sim yo'nalishi bilan induksiya chiziqlari orasidagi burchaklar.

Topish kerak: F_2 -o'tkazgichga ta'sir qiluvchi kuchni.

Yechilishi. Amper formulasi $F_1 = BIl \sin \alpha$ dan bir jinsli magnit maydon induksiyasini aniqlaymiz:

$$B = \frac{F_1}{Il \sin \alpha_1}; \quad B = \frac{2,8 \text{ H}}{4 \text{ A} \cdot 0,5 \text{ m} \cdot 1} = 1,4 \text{ T}.$$

Magnit induksiyasini bilgan holda, agar burchak 30° ga teng bo'lsa, magnit maydonning tokli o'tkazgichga ta'sir kuchini aniqlash mumkin:

$$F_2 = BIl \sin \alpha_2; \quad F_2 = 1,4 \text{ T} \cdot 4 \text{ A} \cdot 0,5 \text{ m} \cdot 0,5 = 1,4 \text{ N}.$$

Javob. Ikkinchi holda o'tkazgichga 1,4 N kuch ta'sir qiladi.

3-masala. $5 \cdot 10^{-2}$ T induksiya bir jinsli magnit maydonda uzunligi 0,8 m bo'lgan o'tkazgich ko'chirilmoqda. O'tkazgichdagi tok kuchi 15 A. O'tkazgich magnit induksiya vektoriga 30° burchak ostida joylashgan. O'tkazgichga ta'sir etuvchi kuchni va o'tkazgichni 1,8 m masofaga ko'chirishda magnit maydon bajargan ishni toping.

Berilgan: $B=5 \cdot 10^{-2}$ T -magnit maydon induksiya; $l=0,8$ m-o'tkazgichning uzunligi; $I=15$ A -o'tkazgichdagi tok kuchi; $\alpha = 30^\circ$ - $\vec{l}$ va $\vec{B}$ vektorlar orasidagi burchak; $b=1,8$ m -o'tkazgich ko'chgan masofa.

Topish kerak: F-o'tkazgichga ta'sir etuvchi kuchni; A-o'tkazgichni ko'chirishda magnit maydon bajargan ishni.

Yechilishi. Bir jinsli magnit maydonida tokli o'tkazgichga Amper kuchi ta'sir qiladi.

$$F = BIl \sin \alpha; F = 5 \cdot 10^{-2} \text{ T} \cdot 15 \text{ A} \cdot 0,8 \text{ m} \cdot 0,5 = 0,3 \text{ N}.$$

O'tkazgichga ta'sir etuvchi kuchni va u ko'chgan masofani bilgan holda ishni aniqlash mumkin.

$$A = F \cdot b; A = 0,3 \text{ N} \cdot 1,8 \text{ m} = 0,54 \text{ J}.$$

Javob. Magnit maydon tokli o'tkazgichga 0,3 N kuch bilan ta'sir qiladi va uni ko'chirishda 0,54 J ish bajaradi.

4-masala. Uzunligi 30 sm bo'lgan solenoid 3000 o'ramga ega. Bitta o'ramning diametri 11 sm. Tok kuchi 1,5 A bo'lganda solenoid ichidagi magnit maydon induktsiyasini va o'ramlar yuzi orqali o'tuvchi magnit oqimini aniqlang. Agar solenoid ichiga temir karbid yasalgan o'zak joylashtirilsa, induksiya va magnit oqimi qanday o'zgaradi?

Berilgan: $l = 0,3 \text{ m}$ -solenoidning uzunligi; $N = 3000$ solenoiddagi o'ramlar soni; $d = 11 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ -bir o'ramning diametri; $I = 1,5 \text{ A}$ -tok kuchi; jadvaldan; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N/m}^2$ -magnit doimiysi; $\mu = 3000$ -temir karbidning magnit singdiruvchanligi.

Topish kerak: B_1 -o'zaksiz solenoiddagi magnit maydon induktsiyasini, B_2 -o'zakli solenoiddagi magnit maydon induktsiyasini; Φ_1 va Φ_2 -oldingi shartlarga mos ravishda magnit oqimlarini.

Yechilishi. Solenoidning yetarlicha uzunligini hisobga olib, bir jinsli solenoid ichidagi o'q bo'ylab yo'nalgan magnit maydonni hisoblaymiz. Magnit maydon induktsiyasini quyidagi formula bo'yicha aniqlaymiz:

$$B = \mu_0 \mu \frac{IN}{l}.$$

O'zak bo'lmaganda $\mu = 1$ (havo uchun). U holda.

$$B_1 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m} \cdot \frac{1,5 \text{ A} \cdot 3000}{0,3 \text{ m}} = 1,9 \cdot 10^{-2} \text{ T}.$$

O'zak bo'lganda magnit maydon induktsiyasi μ marta ortadi:

$$B_2 = 3000 \cdot 1,9 \cdot 10^{-2} \text{ T} = 57 \text{ T}.$$

Magnit oqimini quyidagi formula bilan aniqlaymiz:

$$F = BS \cos \alpha.$$

Berilgan misolda $\alpha = 0$ va $\cos \alpha = 1$, ya'ni esa $S = \frac{\pi d^2}{4}$.

U holda:

$$\Phi_1 = B \frac{\pi d^2}{4}; F \quad \Phi_1 = \frac{1,9 \cdot 10^{-2} \text{ T} \cdot 3,14 \cdot 121 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}{4} = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}.$$

O'zak mavjud bo'lganda

$$\Phi_2 = 3000 \cdot 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ Wb} = 0,54 \text{ Wb}.$$

Javob. O'zaksiz solenoiddagi magnit maydon induktsiyasi $1,9 \cdot 10^{-2} \text{ T}$ va o'zak mavjud bo'lganda esa 57 T ; yuqoridagi shartlarda magnit oqimi mos ravishda $1,8 \cdot 10^{-4}$ va $0,54 \text{ Wb}$ ga teng.

5-masala. Tokli o'tkazgich radiusi 10 sm bo'lgan aylana shakliga keltirildi. Bu holda konturning magnit momenti $0,314 \text{ A} \cdot \text{m}^2$ ga teng bo'ldi. Konturdagi tok kuchini va $5 \cdot 10^{-3} \text{ T}$ induktsiyali bir jinsli magnit maydon tomonidan ta'sir etuvchi maksimal aylantirish momentini aniqlang.

Berilgan: $r = 0,1 \text{ m}$ - bir o'ramning radiusi $p_m = 0,314 \text{ A} \cdot \text{m}^2$ - konturning magnit momenti; $B = 5 \cdot 10^{-3} \text{ T}$ - magnit maydon induktsiyasi.

Topish kerak: I - konturdagi tok kuchini; M_{maks} - maksimal aylantirish momentini.

Yechilishi. Konturning magnit momentini bilgan holda undagi tok kuchini aniqlaymiz: $p_m = IS$, bunda $S = \pi r^2$. U holda $p_m = I \pi r^2$, bundan

$$I = \frac{p_m}{\pi r^2}; \quad I = \frac{0,314 \cdot \text{A} \cdot \text{m}^2}{3,14 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2} = 10 \text{ A}.$$

Maksimal magnit momenti quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$M_{\text{maks}} = p_m B; \quad M_{\text{maks}} = 0,314 \text{ A} \cdot \text{m}^2 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \text{ T} \approx 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}.$$

Javob. Konturdagi tok kuchi 10 A ; maksimal aylantirish moment taxminan $1,6 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}$ ga teng.

6-masala. Proton 1 kV potentsiallar ayirmasini o'tib, tezlik oladi va induktsiya chiziqlariga perpendikulyar bo'lgan 0,2 T induktsiyali bir jinsli magnit maydoniga kiradi. Proton harakatlanadigan aylana radiusini va uning aylanish davrini aniqlang.

Berilgan: $U=1000$ V-tezlatuvchi potentsiallar ayirmasi; $B=0,2$ T-magnit maydon induktsiyasi; $\alpha=90^\circ - \vec{B}$ va $\vec{v}$ vektorlar orasidagi burchak; jadvaldan:

$m_p=1,67 \cdot 10^{-27}$ kg-protonning massasi; $q=1,6 \cdot 10^{-19}$ C-protonning zaryadi.

Topish kerak: r-aylana radiusini; T-protonning aylanish davrini.

Yechilishi. Harakatlanuvchi elektr zaryadga, bizning holda protonga, magnit maydonida Lorents kuchi ta'sir qiladi: $F_L = Bvq \sin \alpha$, bunda $\alpha - \vec{B}$ va $\vec{v}$ vektorlar orasidagi burchak. $\alpha=90^\circ$ va $\sin \alpha = 1$ ni hisobga olsak: $F_L = Bvq$. Lorents kuchi $\vec{B}$ va $\vec{v}$ vektorlar turgan tekislikka har doim perpendikulyar bo'lgani uchun u ish bajarmaydi, ya'ni harakatlanuvchi zaryadlarning kinetik energiyasini o'zgartirmaydi; shu kuch ta'siri ostida faqat tezlik yo'nalishi o'zgaradi. Shuning uchun biz quyidagini yozishimiz mumkin:

$$Bvq = \frac{m_p v^2}{r}, \quad \text{bundan:} \quad r = \frac{m_p v}{Bq}.$$

Protonning tezligini topish uchun energiyaning saqlanish qonunidan foydalanamiz:

elektr maydon kuchi U proton erishgan kinetik energiyaga teng: $qU = \frac{m_p v^2}{2}$, bundan:

$$v = \sqrt{\frac{2qU}{m_p}}; \quad v = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 10^3 \text{ V}}{1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}}} = 4,4 \cdot 10^5 \text{ m/s}.$$

Aylananing radiusini topamiz:

$$r = \frac{1,6 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot 4,4 \cdot 10^5 \text{ m/s}}{0,2 \text{ T} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}} \approx 0,023 \text{ m}.$$

Protonning tezligini va uning orbitasini bilgan holda davrini aniqlaymiz:

$$T = \frac{2\pi r}{v}; \quad T = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,023 \text{ m}}{4,4 \cdot 10^5 \text{ m/s}} = 0,033 \cdot 10^{-5} \text{ s} \approx 0,3 \text{ mks}.$$

Javob. Proton 0,023 m radiusli aylana bo'ylab harakatlanadi, uning aylanish davri taqriban 0,3 mks ga teng.

SAVOL VA MASALALAR

- 5.1. Elektr tokining har doim issiqlik ta'siri kuzatiladimi? Kimyoviy ta'sirichi? Magnit maydon vujudga keladimi?
- 5.2. Molekula yonidan zaryadlangan zarracha uchib o'tsa, molekula bilan bog'langan sistemada magnit maydoni hosil bo'ladimi? Zarrachaning zaryad ishorasi javobga ta'sir qiladimi?
- 5.3. Magnit strelka Yerning magnit qutblarida qanday joylashadi?
- 5.4. Agar trolleybus simlari orasidagi masofa 520 mm, ulardagi tok kuchi esa 200 A bo'lsa, o'zgarmas tok liniyasining 30 m li qismida simlar qanday kuch bilan o'zaro ta'sirlashadi?
- 5.5. O'zgarmas tokli elektr uzatish liniyasi 150 A tok kuchiga mo'ljallangan. Ikkita sim har 50 m masofada $2,8 \cdot 10^{-1}$ N kuch bilan o'zaro ta'sirlashishi uchun ular bir-biridan qanday masofada turishi kerak?
- 5.6. Birday tok kuchiga ega bo'lgan ikkita parallel sim orasidagi masofa 25 sm. Agar uning har bir metr uzunligi 2 mN kuch bilan o'zaro ta'sir qilsa har bir simdagi tok kuchini aniqlang.
- 5.7. Ikkita parallel sim bir-biridan 6 sm masofada turibdi. Ularning birida tok kuchi 15 A, ikkinchisida esa 10 A. Bu simlarning qanday uzunlikdagi qismiga 1,4 mN kuch ta'sir qiladi?
- 5.8. Uzunligi 2,8 m bo'lgan ikkita parallel sim bir-biridan 12 sm masofada turibdi va 3,4 mN kuch bilan tortishayapti. Simlarning biridagi tok kuchi 58 A. Ikkinchi simdagi tokni toping. Simlardagi toklarning yo'nalishlarini toping.
- 5.9. Magnit maydonida turgan yuzi 1 sm^2 bo'lgan ramkaga ta'sir qiluvchi maksimal aylantiruvchi moment 2 mN-m ga teng. Ramkadan o'tuvchi tok kuchi 0,5 A ga teng. Magnit maydoni induksiyasini toping.
- 5.10. Induksiyasi 0,1 T ga teng bo'lgan bir jinsli magnit maydoniga yuzi 400 sm^2 bo'lgan ramka shunday joylashtirilganki, ramkaga o'tkazilgan normal induksiya chiziqlariga perpendikulyar joylashgan. Tok kuchi qancha bo'lganda ramkaga 20 mN-m ga teng bo'lgan aylantiruvchi moment ta'sir qiladi?

- 5.11. Uzunligi 0,5 m va tok kuchi 5 A bo'lgan to'g'ri o'tkazgich 0,16 T induksiya bilan bir jinsli magnit maydonida turibdi. Simlar va induksiya vektorlari orasidagi burchaklar 90° , 30° , 0° ni tashkil qilgan hollar uchun, o'tkazgichga ta'sir qiluvchi kuchni aniqlang.
- 5.12. Uzunligi 0,7 m bo'lgan to'g'ri o'tkazgichda tok kuchi 10 A bo'lganda unga 42 mN kuch ta'sir qilgan bir jinsli magnit maydon induksiyasini aniqlang. Shu o'tkazgich bilan magnit maydon yo'nalishi orasidagi burchak 30° ni hosil qiladi.
- 5.13. Bir jinsli magnit maydonida induksiya chiziqlariga perpendikulyar joylashgan uzunligi 1 m bo'lgan to'g'ri o'tkazgichga 0,6 N kuch ta'sir qiladi. O'tkazgichdagi tok kuchi 12 A ga teng. Agar o'tkazgich va maydon induksiya vektori yo'nalishi orasidagi burchak 45° bo'lsa, bu maydon o'tkazgichga qanday kuch bilan ta'sir qiladi? Bu masalani ikki xil yo'l bilan yeching.
- 5.14. Uzunligi 20 sm va massasi 4 g bo'lgan gorizontali joylashgan o'tkazgichdan 10 A tok o'tmoqda. Og'irlik kuchi Amper kuchi bilan muvozanatlashishi uchun o'tkazgichni joylashtirish lozim bo'lgan magnit maydon induksiyasini (modulini va yo'nalishini) toping.
- 5.15. Aktiv qismining uzunligi 8 sm bo'lgan o'tkazgichdagi tok kuchi 50 A ga teng. U magnit induksiyasi 20 mT bo'lgan bir jinsli magnit maydonida turibdi. O'tkazgich magnit maydoniga perpendikulyar ravishda 10 sm siljiganda bajarilgan ishni toping.
- 5.16. Tokli uzun to'g'ri simdan 10 sm masofada magnit maydoni kuchlanganligi 20 A/m. Agar simni 2,5 T induktiviyali bir jinsli magnit maydoniga tok yo'nalishi va magnit induksiya vektori orasidagi burchakni 30° qilib joylashtirilsa, uning har bir metriga qanday kuch ta'sir qiladi?
- 5.17. 7,8 A tok kuchi o'tayotgan to'g'ri o'tkazgichning o'zidan 4,8 sm masofadagi nuqtada hosil qilgan magnit maydon induksiyasini va kuchlanganligini aniqlang.
- 5.18. 10 A tok kuchi o'tayotgan o'tkazgich biror nuqtada 40 A/m kuchlanganlikli magnit maydonni hosil qiladi. Shu nuqtadagi magnit maydon induksiyasini va undan o'tkazgichgacha bo'lgan masofani aniqlang.
- 5.19. Halqa shaklidagi tokli o'tkazgich halqa markazida kuchlanganligi 25 A/m bo'lgan magnit maydoni hosil qiladi. Agar halqadagi tok kuchi 3,45 A bo'lsa, shu maydonning induksiyasini va halqaning radiusini aniqlang.

5.20. O'ramning radiusi 4 sm bo'lganda aylanma tok markazidagi magnit maydon induksiyasi $1,57 \cdot 10^{-4}$ T ga teng. O'ram markazidagi maydon kuchlanganligini va undagi tok kuchini aniqlang.

5.21. Uzun to'g'ri o'tkazgich bo'ylab 4,4 sm masofada $0,8 \cdot 10^{-4}$ T induksiyali magnit maydoni hosil qiluvchi tok o'tadi. Muhitning magnit singdiruvchanligi 1,1. O'tkazgichdagi tok kuchini va undan 16 sm masofadagi maydon kuchlanganligini aniqlang.

5.22. Agar o'ramdagi magnit maydon kuchlanganligi 10 A/m, uning radiusi esa 6 sm bo'lsa, aylanma tokning magnit momentini aniqlang.

5.23. Diametri 15 sm bo'lgan sim halqa $4,2 \cdot 10^{-2}$ A·m² magnit momentiga ega. Halqadagi tok kuchini va uning markazidagi magnit maydon kuchlanganligini aniqlang.

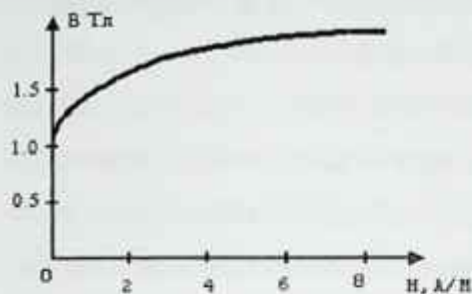
5.24. Induksiyasi $1,2 \cdot 10^{-2}$ T bo'lgan bir jinsli magnit maydonida $6 \cdot 10^{-2}$ A tok kuchi o'tayotgan sim halqa turibdi. Halqaning tekisligi magnit induksiyasi chiziqlariga parallel. Halqaning radiusi 5 sm. Magnit maydon tomonidan halqaga ta'sir qiluvchi maksimal kuchni aniqlang.

5.25. Uzunligi 100 sm bo'lgan o'zaksiz solenoiddagi o'ramlar soni 600 ga teng. Solenoidda tok kuchi 0,4 A bo'lganda, uning ichidagi magnit maydon induksiyasini aniqlang.

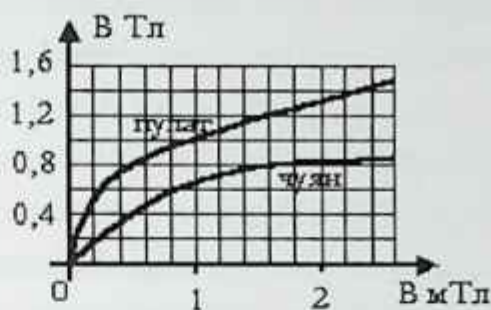
5.26. Diametri uzunligiga nisbatan juda kichik bo'lgan solenoiddagi tok kuchi 6,5 A. 65 sm uzunlikdagi solenoiddagi o'ramlar soni 750. Kuchlanganlikni va o'zaksiz solenoid ichidagi magnit maydonni aniqlang.

5.27. Yetarlicha uzun solenoid ichidagi magnit maydon induksiyasi $2,52 \cdot 10^{-3}$ T ga teng. Undagi tok kuchi 3,0 A. O'ramlar zich qilib bir qator o'ralgan. Solenoid o'zaksiz. Solenoid tayyorlangan simning diametrini aniqlang.

5.28. Magnit maydonining 1,5 va 5,0 kA/m kuchlanganliklarida yumshoq po'lat uchun magnit singdiruvchanlikni aniqlang. (12.2-rasmdagi grafikka qarang). Boshlang'ich magnitlanish jarayonida magnit maydonning ortishi bilan po'latning magnit singdiruvchanligi qanday o'zgaradi? Nima uchun?



12.2-rasm



12.3-rasm

5.29. 12.3-rasmdan foydalanib, po'latning magnitlovchi maydonining V_0 induksiyasi 0,4 mT va 1,2 mT bo'lgan hollardagi magnit singdiruvchanligini toping.

5.30. Agar solenoidning cho'yan o'zagi xuddi shunday o'lchamli po'lat o'zak bilan almashtirilsa, magnit oqimi necha marta o'zgaradi? Magnitlovchi maydonning induksiyasi $B_0=2,2$ mT. 12.3-rasmdan foydalaning.

5.31. O'zaksiz solenoid ichidagi maydonning induksiyasi $B_0=2$ mT. Agar solenoid ichiga kesimi 100 cm^2 bo'lgan cho'yan o'zak kiritilsa, magnit oqim qanday bo'lib qoladi?

5.32. Agar nikel o'zakdagi bir jinsli magnit maydon kuchlanganligi $2,0 \cdot 10^3 \text{ A/m}$, o'zak ko'ndalang kesimining yuzi 30 cm^2 va uning magnit singdiruvchanligi 200 bo'lsa, o'zakdagi magnit induksiyasini va uning magnit oqimini aniqlang.

5.33. O'zaksiz solenoidda cho'lg'ami $1,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ diametrli simdan o'ralgan. Radiusi 1,0 sm bo'lgan o'ramlar ketma-ket zich qilib joylashtirilgan. Solenoiddagi tok kuchi 2,0 A bo'lganda, uning ichidagi magnit oqimini aniqlang.

5.34. Ko'ndalang kesim yuzi 60 cm^2 bo'lgan kontur ichidagi magnit oqim 0,3 mVb ga teng. Kontur ichidagi maydon induksiyasini toping. Maydonni bir jinsli deb hisoblang.

5.35. Elektromagnit o'zagining magnit induksiyasi 1,2 T, uning ko'ndalang kesimining yuzi esa $0,12 \text{ m}^2$ teng. Elektromagnitning o'zagidagi magnit oqimini aniqlang.

5.36. Ko'ndalang kesimining yuzi $4,5 \text{ cm}^2$ va magnit singdiruvchanligi 160 bo'lgan po'lat sterjen kuchlanganligi 7970 A/m bo'lgan bir jismli magnit maydonga shunday

kiritilganki, unda kuchlanganlik chiziqlari sterjenning ko'ndalang kesimi normal bilan mos keladi. Sterjenni kesib o'tuvchi magnit oqimini aniqlang.

5.37. Solenoidning temir o'zagi ($\mu=8000$) da hosil qilingan bir jinsli magnit maydonning kuchlanganligi $1 \cdot 10^3$ A/m va o'zakning ko'ndalang kesimi orqali o'tgan magnit induksiya oqimi $3,2 \cdot 10^{-2}$ Wb. O'zakning ko'ndalang kesimini toping.

5.38. Induksiyasi $1,2 \cdot 10^{-3}$ T bo'lgan bir jinsli magnit maydonga tomonlari 4 sm dan bo'lgan kvadrat ramka joylashtirilgan. Ramka yuzasiga o'tkazilgan normal bilan magnit induksiya vektori orasidagi burchak 45° ni tashkil qiladi. Ramkaning kesim yuzi orqali o'tayotgan magnit induksiya oqimini toping.

5.39. Temir o'zakli solenoid ichidagi magnit maydon kuchlanganligi 1600 A/m. O'zakning ko'ndalang kesimi yuzi 10 cm^2 . Agar o'zakdagi magnit oqimi $2 \cdot 10^{-4}$ Wb ga teng bo'lsa, magnit maydon induksiyasini va temirning magnit singdiruvchanligini aniqlang.

5.40. Elektron bir jisimli magnit maydonida $1,0 \cdot 10^4$ km/s tezlik bilan magnit maydon vektoriga perpendikulyar yo'nalishda harakatlanadi. 150 A/m maydon kuchlanganligida elektronga ta'sir qiluvchi kuchni aniqlang.

5.41. Elektron $9,1 \cdot 10^{-5}$ T induksiyali bir jinsli magnit maydonga uchib kiradi. Elektronning tezligi $1,9 \cdot 10^7$ m/s va magnit induksiya vektoriga perpendikulyar yo'nalgan. Elektron harakatlanayotgan aylananing radiusini, aylanish davrini va chatotani aniqlang.

5.42. Induksiyasi 0,2 T bo'lgan magnit maydonida induksiya chiziqlariga perpendikulyar ravishda 10 Mm/s tezlik bilan harakatlanayotgan protonga qanday kuch ta'sir qiladi?

5.43. Agar magnit maydonga maydonning induksiya chiziqlariga perpendikulyar yo'nalishda 10 Mm/s tezlik bilan uchib kirgan elektron maydon radiusi 1 sm bo'lgan aylana chizsa, shu maydonning induksiyasini toping.

5.4. Induksiyasi 0,01 T bo'lgan magnit maydonda proton 10 sm radiusli aylana chizdi. Protonning tezligini toping.

- 5.45. Induksiyasi 10 mT bo'lgan bir jinsli magnit maydonga induksiya chiziqlariga perpendikulyar ravishda elektron 30 keV kinetik energiya bilan uchib kiradi. Maydonda elektronning harakat trayektoriyasining egrilik radiusi qanday?
- 5.46. Proton va α -zarra bir jinsli magnit maydonda kuch chiziqlariga perpendikulyar ravishda uchib kiradi. Bu zarralarning a) tezliklari; b) energiyalari bir xil bo'lgan hollarda ular chizadigan aylanalarning radiuslarini taqqoslang.
- 5.47. Elektron induksiyasi 4 mT bo'lgan bir jinsli magnit maydonda harakatlanmoqda. Elektronning aylanish davrini toping.
- 5.48. Bir jinsli elektr maydon va bir jinsli magnit maydon o'zaro perpendikulyar joylashgan. Elektr maydon kuchlanganligi 1 kV/m, magnit maydon induksiyasi 1 mT. Elektronning harakati to'g'ri chiziqli bo'lishi uchun uning tezligini toping.
- 5.49. Elektron induksiyasi $2,5 \cdot 10^{-3}$ T bo'lgan bir jinsli magnit maydonga uchib kiradi va unda radiusi 40 sm bo'lgan aylana bo'ylab harakatlanadi. Uning tezligi vektori magnit maydon yo'nalishi bilan 90° burchak hosil qiladi. Elektronning kinetik energiyasini aniqlang.

6-§. Vakuumd elektr toki.

Reja:

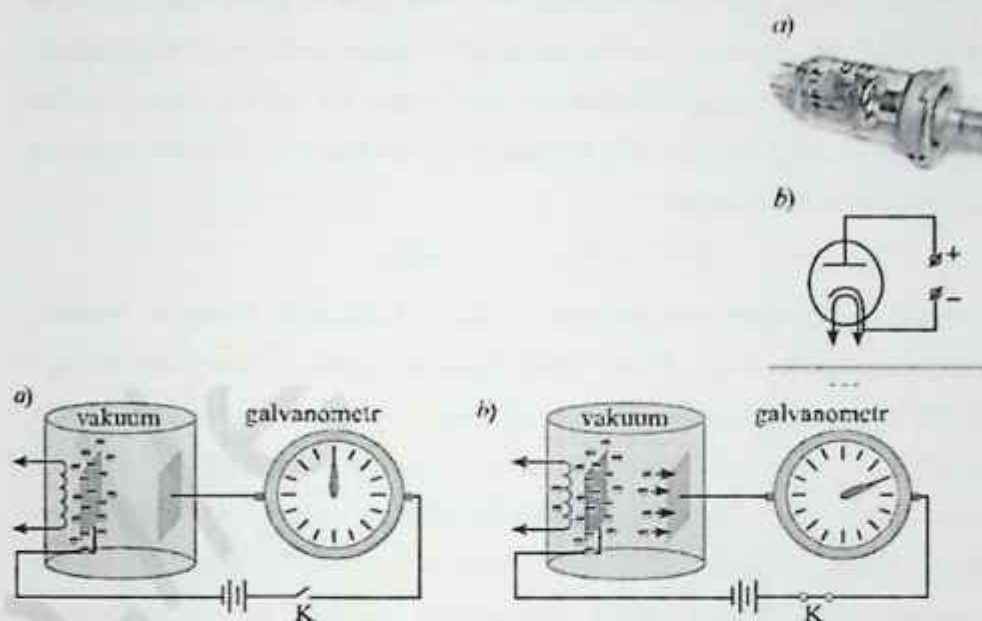
1. Vakuumd elektr toki.
2. Gazlarda elektr toki.
3. Mustaqil va mustaqil bo'lmagan gaz razryadlari.

Mavzu mazmuni: Termoelektron emissiya hodisasi. Vakuumd elektr toki. Metallardan elektronlarning chiqish ishi. Gazlarda elektr toki. Ionlanish va rekombinatsiyalanish jarayonlari. Gaz razryadining to'liq voltamper xarakteristikasi. Mustaqil va mustaqil bo'lmagan gaz razryadlari. Mustaqil gaz razryadlarining turlari va ularning qo'llanilishi. Plazma haqida tushuncha.

Tayanch iboralar: termoelektron emissiya, chiqish ishi, ionlanish va rekombinatsiyalanish, razryadlar, plazma.

Vakuumd elektr toki. Nay ichidagi gazni maxsus nasosda so'rib, undagi gaz molekulalari sonini shu darajaga yetkazish mumkinki, bunda gaz molekulalari bir devordan ikkinchi devorga deyarli bir-biri bilan to'qnashmasdan yetib boradilar. Naydagi gazning bunday holati vakuum deb ataladi.

Amerikalik fizik Tomas Edison vakuumda elektr tokining o'tish tabiatini o'rgangan. U ikkita elektrod o'rnatilgan shisha kolba ichida vakuum hosil qilib, elektrodning birini tok manbainiing manfiy qutbiga, ikkinchi elektrodni galvanometr orqali tok manbainiing musbat qutbiga ulagan. Dastlab u strelkasi o'zgarmaganligini ko'rib, vakuumdan tok o'tmayotganligini kuzatdi. So'ngra tok manbainiing manfiy qutbiga ulangan elektrod qizdirilganda vakuumda elektr tokining yuzaga kelganligini, ya'ni galvanometr strelkasi og'ishi vakuumdan tok o'tayotganligini tasdiqladi (rasm).



6.1-rasm. Vakuumda elektr toki

Qizdirilgan metallardan elektronlarning ajralib chiqishi termoelektron etnissiya deb ataladi.

Demak, vakuumda hosil bo'lgan elektr toki qizdirilgan elektroddan ajralib chiqqan elektronlar oqimidan iborat. Qizdirilayotgan elektrodni katod deb ataymiz va u tok manbaining manfiy qutbiga ulanadi. Sovuq elektrodni esa anod deb ataymiz va u manbaining musbat qutbiga ulanadi.

Katod va anod kavsharlangan vakuumli kolba (nay)ga ikki (6.2-rasm) elektrodli elektron lampa yoki diod deyiladi. Vakuumli diodning umumiy ko'rinishi va elektr sxemasi 6.2-rasmda keltirilgan.

O'tgan asrda elektron lampalar elektronika sohasida yetakchi o'rinni egallagan va ulardan radio, televizor, kompyuter, sanoat elektronikasida keng foydalanilgan. Fan va texnikaning tez sur'atlar bilan rivojlanishi natijasida bugungi kunda vakuumli lampalarning o'mida zamonaviy hamda kam energiya iste'mol qiluvchi yarimo'tkazgichlardan yasalgan asboblardan qo'llanilmoqda.

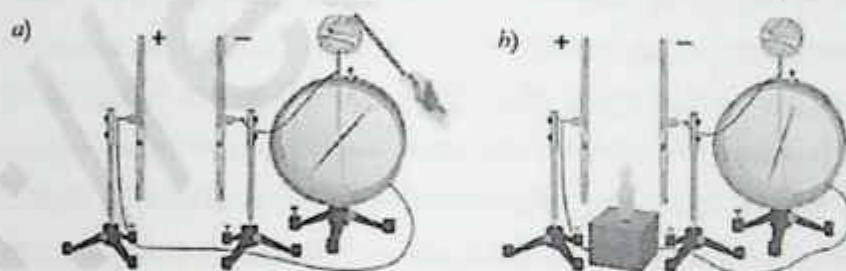
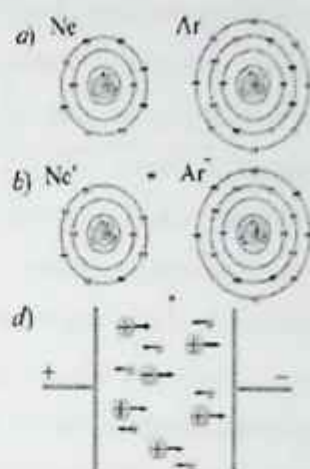
Vakuumdagi elektr toki qanday yuzaga keladi? Katod qizdirilganda undan elektronlar ajralib chiqib boshlaydi. Katoddan chiqqan elektronlar anod va katod orasidagi elektr maydoni ta'sirida anodga tomon tartibli harakatga keladi va zanjirda tok hosil bo'ladi. Agar t vaqt davomida anodga N ta elektron yetib kelgan bo'lsa, shu vaqt davomida anod olgan zaryad miqdorini $q = N e$ ifodaga ko'ra hisoblaymiz. U holda anod toki quyidagi ifoda orqali hisoblanadi:

$$I = \frac{q}{t} = \frac{Ne}{t} \quad (6.1)$$

O'zbekistonda metallarda termoelektron emissiya hodisasini o'rganish borasida yurtdoshimiz akademik Ubay Oripov rahbarligida bir guruh olimlar ilmiy-tadqiqot ishlarini olib borishgan. Ularning olib borgan ilmiy izlanishlarining natijalari kosmik materialshunoslik va asbobsozlik sohasida keng qo'llanilib kelinmoqda.

Gazlarda elektr toki. Yassi kondensatorni elektrometrga ulab, elektrometrimiz zaryadlaylik. Bunda ma'lum bir qiymatni ko'rsatib turgan elektrometr ko'rsatkichi deyarli qo'zg'almaydi, undagi zaryad kamaymaydi (a-rasm). Bu esa kondensator qoplamalari orasidagi havo orqali zaryad o'tmayotganligini ko'rsatadi. Demak, quruq havoni xona temperaturasida dielektrik deb hisoblash munikin.

Sham yoqib, kondensator qoplamalari orasidagi havoni isitaylik. Shu zahoti elektrometr ko'rsatkichi kamaya boshlaydi, ya'ni kondensator zaryadsizlanadi (b-rasm). Demak, isitilgan havodan tok o'tadi.



Gaz orqali elektr toki o'tishi jarayoni gaz razryadi deb ataladi.

Gazlarning ionlashishi. Havo tarkibida azot, kislorod, vodoroddan tashqari bir foizga yaqin neon, argon kabi inert gazlar ham mavjud. Xona haroratida havodagi barcha atom va molekullar neytral holatda bo'ladi. Havo isitilganda neytral atomlar ionlarga aylana boshlaydi, ya'ni ionlashadi. Bu jarayon qanday kechishini neon va argon inert gazlari misolida ko'rib chiqaylik. Neon (Ne) yadrosi atrofida orbita bo'ylab 10 ta, argon (Ar) yadrosi atrofida esa 18 ta elektron aylanib yuradi. Ularda tashqi elektron qobig'ida 8 tadan elektron bo'lib, tugallangan qobiq hisoblanadi. Neon yadrosining zaryadi $+10e$ ga, elektronlarining jami zaryadi $10e$ ga teng. Argonniki esa mos ravishda $+18e$ va $-18e$ ga teng (a-rasm). Alohida olingan Ne va Ar atomlari elektr jihatidan neytraldir. Havo isitilganda ba'zi Ne va Ar atomlarining tashqi elektron qobig'ida aylanib yurgan elektronlardan biri atomni tark etadi. Bitta elektronini yo'qotgan Ne atomi Ne^+ ioniga, Ar atomi esa Ar^+ ioniga aylanadi (b-rasm). Temperatura qancha yuqori bo'lsa, havoda shuncha ko'p ion hosil bo'ladi.

Elektr maydon ta'sirida Ne^+ va Ar^+ ionlari kondensatorning manfiy zaryadlangan qoplamasi tomon, atomlardan ajralib chiqqan elektronlar esa musbat zaryadlangan qoplamasi tomon harakatlanadi (d-rasm). Natijada havodan tok o'tadi.

Gazlarning elektr o'tkazuvchanligida, bir tomondan, ionlar ishtirok etishi elektrolitlarning o'tkazuvchanligiga, ikkinchi tomondan, unda elektronlarning ishtirok etishi metallarning elektr o'tkazuvchanligiga o'xshaydi. Gazlarda elektr o'tkazuvchanlik elektr maydonda ionlar va erkin elektronlarning tartibli harakatidan iborat.

Rekombinatsiya. Tashqi elektr maydon uzilganda, ya'ni ionlashtiruvchi tashqi ta'sir to'xtatilganda, gazdagi elektron va ionlar bir-biri bilan qo'shilishi natijasida yana neytral atomlarni hosil qilishi ham mumkin.

Elektron va musbat zaryadli ionlarning qo'shilishi natijasida neytral atomlar hosil bo'lish jarayoni gazlarda zaryadli zarralarning rekombinatsiyasi deb ataladi.

Tashqi ta'sir to'xtatilgan vaqtda zaryadli zarralar faqat rekombinatsiya tufayli yo'qoladi va gaz yana dielektrikka aylanadi.

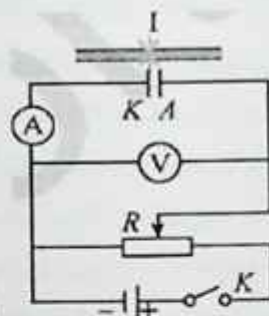
Elektr razryadlarning turlari va ulardan foydalanish

Gaz razryadining bir necha turi mavjud.

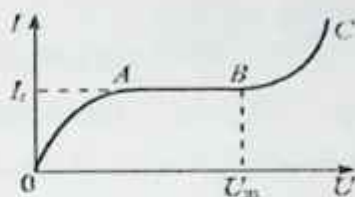
Nomustaqil razryad. Gazdan o'tayotgan tok kuchining qo'yilgan elektr kuchlanishga bog'liqligini ko'rib chiqaylik. Buning uchun sxemasi rasmda tasvirlangan elektr zanjirni yig'aylik.

6.3-rasm. Nomustaqil razryad

A anod va K katodlarni yassi kondensator qoplamalari kabi bir-biriga parallel ravishda o'rnataylik. Anod va katod orasidagi kuchlanish V voltmetr bilan, anod va katod orasidagi gaz (havo)dan o'tayotgan tok kuchi A ampermetr bilan o'lchanadi. R reostat yordamida anod va katod orasidagi kuchlanishni o'zgartira borish mumkin. Anod va katod orasidagi havoni doimiy ravishda ionlashtirib turish uchun I ionizator o'rnatilgan. Ionizator uzluksiz chaqnab turishidan anod va katod orasidagi havo qiziydi va ionlashadi.



Elektr zanjirdagi kalitni ulab, kuchlanishni asta-sekin oshira boramiz. Anod va katod orasidagi elektr kuchlanish ortishi bilan hosil boʻlgan tok kuchi ham orta boradi. Havoda oʻtayotgan tokning kuchlanishga bogʻliq holda oʻzgarishi rasmda koʻrsatilgan.



6.4-

rasm. Tok kuchining toʻyinishi

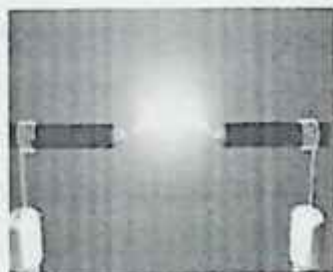
Kuchlanishni oshira borishda shunday payt keladiki, bunda kuchlanish maʼlum qiymatga yetgach, tok kuchi oshmasdan oʻzgarmas boʻlib qoladi (6.4-rasmning AB qismi). Tok kuchining bunday qiymati toʻyinish toki I_s deyiladi.

Tok kuchining toʻyinishiga sabab nima? Kuchlanish past boʻlganda, anod va katod orasida birlik vaqt ichida hosil boʻlayotgan zaryadlarning bir qismigina anod va katodga yetib boradi. Kuchlanish ortishi bilan anod va katodga yetib boradigan zaryadlar soni ortib boradi. Kuchlanish maʼlum qiymatga erishganda, havoda hosil boʻlgan zaryadlarning hammasi anod va katodga yetib boradi. Agar ionizator oʻchirilsa, shu zahoti zanjirda tok kuchining qiymati nolga teng boʻlib qoladi. Chunki, elektr razryad toʻxtaydi. Anod va katod orasidagi havoda ionizatsiyasiz mustaqil ravishda razryad boʻlmaydi. Ionizator taʼsir toʻxtatilishi bilan toʻxtaydigan razryad nomustaqil razryad deb ataladi.

Mustaqil razryad. Yuqoridagi tajribani davom ettirib, kuchlanishni yanada oshirib borsak, kuchlanish maʼlum U_m qiymatga yetganda tok kuchi keskin orta boshlaydi (rasm BC qismi). Bunga sabab anod tomon harakatlanayotgan elektronlar oʻz yoʻlida gazdagi neytral atomlar bilan koʻp toʻqnashadi. Kuchlanish ortishi bilan gazda hosil boʻlgan elektronlarning anodga tomon harakat tezligi ham orta boradi. Kuchlanish yana ortira borilsa, elektronlarning kinetik energiyasi oʻz yoʻlida toʻqnashgan neytral atomlarning elektronini urib chiqarishga, ionlashtirishga yetarli boʻladi. Shu tariqa gazning ionlashishi keskin ortadi. Bu esa tok kuchining ham keskin ortishiga sabab boʻladi. Agar tashqi taʼsir - ionizator oʻchirib qoʻyilsa ham, gazning ionlashishi toʻxtamaydi. Elektr razryad ionizator taʼsirisiz ham mustaqil ravishda davom etaveradi.

Ionizator ta'siri to'xtatilganda ham davom etaveradigan razryad mustaqil razryad deb ataladi.

Elektr yoy razryadi. Ikkita ko'mir elektrod olib, ularga 40-50 V kuchlanish beraylik. Ulaming uchlarini bir-biriga tekkizib, biroz uzoqlashtiraylik. Bunda elektrodlar uchlar orasida ko'zni qamashtiradigan yarqirash - elektr yoy razryadi hosil bo'ladi (rasm). Hosil bo'lgan elektr yoy elektrodlar orasidagi kuchlanish olinmaguncha davom etadi.



Elektr yoy razryadi juda quwatli yorug'lik manbaidir. Bunday elektr yoylardan projektorlarda, mayoqlarda va boshqa qurilmalarda foydalaniladi. Elektr yoy temperaturasi juda yuqori bo'lganligidan undan metallarni eritish va payvandlashda foydalaniladi.

Elektr yoy razryadi

Yuqori navli po'lat olishda kuchli elektr yoydan foydalaniladi. Uchqun razryad. Bir-biridan izolatsiyalangan ikkita elektrodni yuqori kuchlanish manbaiga ulaylik. Elektrodlardagi kuchlanish ma'lum katta qiymatga yetgach, ular orasida chaqnash - uchqun razryad hosil bo'lganini ko'ramiz. Uchqun razryad vaqtida o'ziga xos charsillash eshitiladi va ko'zni qamashtiradigan darajada ravshan yorug'lik chiqadi.

Yuqori kuchlanishli elektr uzatish tarmoqlarida o'tkazgich sim metall tayanchga izolator orqali bog'langan bo'lishiga qaramay, ba'zi hollarda kuchli elektr razryad sodir bo'lishi mumkin. Uchqun chiqmasligi uchun elektr uzatish tarmoqlarida kuchlanish qanchalik yuqori bo'lsa, tayanch bilan o'tkazuvchi sim orasidagi izolator shunchalik katta bo'lishi kerak.

Odatdagi sharoitda havodagi elektr maydon kuchlanganligi 3000 000 N/C ga yetganda uchqun razryad hosil bo'ladi.

Uchqun razryad tabiatda chaqmoq tarzida yuz beradi. Chaqmoq bulutlar orasida yoki bulut bilan yer orasida sodir bo'lishini bilasiz. Turli ishorali kuchli zaryadlangan bulutlar bir-biriga yaqinlashganda, ular orasida kuchli uchqun razryad - chaqmoq hosil bo'ladi. Bulutlar orasidagi kuchlanish 100000000 V dan oshishi mumkin.

6.6-Rasm Uchqun razryad

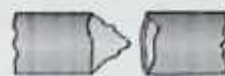
Bunday bulutlar orasidagi chaqmoq paytida havo orqali o'tgan tokning kattaligi 10 000 A ga boradi. Chaqmoq paytida uchqun razryadning davomiyligi bor-yo'g'i 0,001-0,02 s bo'ladi.

Bir-biriga yaqinlashtirilgan ikki elektrodga yuqori kuchlanish berib, uchqun razryad hosil qilinganda, anodda chuqurcha, katodda esa do'ngcha hosil bo'ladi (rasm). Bunday hodisadan metal larga ishlov berishda foydalaniladi. Agar teshik ochish kerak bo'lgan metallni anod qilib olib, unga katod yaqinlashtirilsa, anodda chuqurcha hosil bo'ladi (6.6a-rasm).

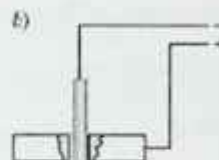
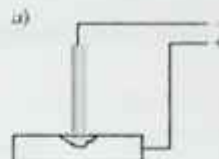
Bu jarayon yana biroz davom ettirilsa, anod sifatida olingan metallda teshik yuzaga keladi (b-rasm).

Toblangan po'latlarda, hatto, undan ham qattiq qotishmalarda ham uchqun razryaddan foydalanib, belgilangan o'lchamda va shaklda teshik ochish mumkin. Metallarni uchqun razryad yordamida ishlash usulidan turli xil shtamplar yasashda, metallarni kesishda va qirquvchi asboblarni charxlashda ham foydalaniladi.

Miltillama razryad. Yopiq shisha nay olib, uning ichiga qarama-qarshi qilib anod va katodlar o'rnatilgan. Nay ichidagi bosim atmosfera bosimiga teng bo'lganda, uning ichidagi havodan tok o'tmaydi. Lekin nay ichidagi havo maxsus nasos yordamida sekin-asta so'rib olinsa, undan tok o'ta boshlaydi (a-rasm). Naychadagi havo taxminan o'n marta siyraklashtirilganda, razryad sezila boshlaydi. Havo odatdagiga nisbatan bir necha yuz marta siyraklashtirilsa, anod va katod orasini miltillagan yorug'lik qoplaydi

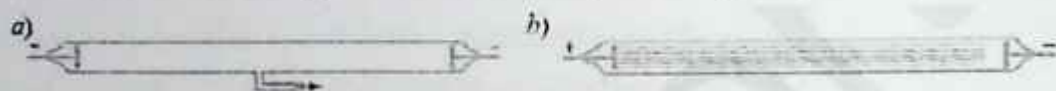


125-rasm



(b-rasm). Shuning uchun bunday razryad miltillama razryad deb ataladi. Bunda katodga yaqin joy qorong'iligicha qoladi.

Miltillama razryaddan sovuq lampalar yoki kunduzgi lampalar deb ataluvchi lampalarda yorug'lik manbai sifatida foydalaniladi. Nayning ichiga oq rangdagi «luminofo» deb ataladigan moddalar surtilsa, undan oq yorug'lik chiqadi.



6.7 Gaz razryadlarining qo'llanilishi

Gaz razryadlarining qo'llanilishi va tabiiy holatda namoyon bo'lishini rasmda ko'rish mumkin.

1 Radiusi 4 sm bo'lgan halqa induksiyasi 0,5 T bo'lgan bir jinsli magnit maydon induksiya chiziqlariga tik joylashtirilgan. Halqadan o'tayotgan magnit oqimi qanday? (Javobi: 25,12 mWb)

№1	Berilgan	Formula	Hisoblash
	R=4 sm= 4·10 ⁻² m B=0,5T Φ=?	Φ = B · S' Bunda S = π · R ² Demak Φ = B · π · R ²	Φ = 0,5 · 3,14 · (4 · 10 ⁻²) ² = 25,12 · 10 ⁻³ Wb = = 25,12 mWb

2. Magnit induksiyasi 4 T bo'lgan bir jinsli magnit maydonda joylashgan yuzasi 250 sm² bo'lgan simli ramkadan o'tayotgan magnit oqimi 87 mWb ga teng. Magnit maydon induksiya chiziqlari sirtga qanday burchak ostida tushmoqda? (Javobi: 30°)

№2	Berilgan	Formula	Hisoblash
----	----------	---------	-----------

$B = 4T$ $S = 250 \text{ cm}^2 = 250 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ $\Phi = 87 \text{ mWb} = 87 \cdot 10^{-3} \text{ Wb}$ $\alpha = ?$	$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha$ <i>bundan</i> $\cos \alpha = \frac{\Phi}{B \cdot S}; \text{ Demak}$ $\arccos \frac{\Phi}{B \cdot S} = \alpha$	$\arccos \frac{87 \cdot 10^{-3} \text{ Wb}}{4T \cdot 250 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} = \alpha$ $\arccos 0,87 = 30^\circ$ $\alpha = 30^\circ$
---	---	---

3. Induksiyasi 50 mT bo'lgan magnit maydonning induksiya chiziqlari sirt tekisligig 30° burchak ostida tushmoqda. Magnit maydon induksiyasining sirtga normal yo'nalishidagi tashkil etuvchisini toping (Javobi: 25 mT)

№	Berilgan	Formula	Hisoblash
3	$B_0 = 50 \text{ mT} = 50 \cdot 10^{-3} T$ $\alpha = 30^\circ$ $B = ?$	$B = B_0 \cdot \sin \alpha$ $\sin 30^\circ = 0,5$	$B = B_0 \cdot \sin \alpha = 50 \cdot 10^{-3} \cdot 0,5 = 25 \cdot 10^{-3} T = 25 \text{ mT}$

4. To'o'ri o'tkazgichdan 5 A tok o'tmoqda. Undan 2 sm uzoqlikdagi nuqtadagi maydon induksiyasini toping. (Javobi: 50 μT)

№	Berilgan	Formula	Hisoblash
4	$I = 5 A$ $R = 2 \text{ sm} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ $B = ?$	$B = \frac{\mu_0 \mu I}{2R\pi}$ $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N / A}^2$	$B = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1 \cdot 5}{2 \cdot \pi \cdot 2 \cdot 10^{-2}} = 5 \cdot 10^{-5} T = 50 \mu T$

5. Radiusi 5 sm bo'lgan sim halqadan 3 A tok oqmoqda. Halqa markazidagi magnit maydon induksiyasini aniqlang. (Javobi: 37,7 μT)

№	Berilgan	Formula	Hisoblash
5	$I = 3A$ $R = 5sm = 5 \cdot 10^{-2} m$ $B = ?$	$B = \frac{\mu_0 \mu I}{2R}$ $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} N / A^2$	$B = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1 \cdot 3}{2 \cdot 5 \cdot 10^{-2}} = 37,7 \cdot 10^{-6} T = 37,7 \mu T$

6. Radiusi 10 sm, o'ramlar soni 500 ta bo'lgan o'altakdan qanday tok o'tganda uning markazida 25 mT magnit maydon induksiyasi hosil bo'ladi? (Javobi: 8 A)

№6	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$N = 500$ $R = 10sm = 10 \cdot 10^{-2} m$ $B = 25mT = 25 \cdot 10^{-3} T$ $I = ?$	$B = \frac{\mu_0 \mu I}{l} \cdot N$; $l = 2\pi R$ Bundan $I = \frac{2\pi R B}{\mu \cdot \mu_0 N}$ $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} N / A^2$	$I = \frac{2\pi \cdot 10 \cdot 10^{-2} \cdot 25 \cdot 10^{-3}}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 500} = 8A$

7. Magnit maydon induksiyasi 3 mT va 4 mT bo'lgan o'zaro tik yo'nalgan ikkita bir jinsli maydonlar qo'shilganda, natijaviy maydonning induksiyasi qanday bo'ladi? (Javobi: 5 mT)

№	Berilgan	Formula	Hisoblash
7	$B_1 = 3mT = 3 \cdot 10^{-3} T$ $B_2 = 4mT = 4 \cdot 10^{-3} T$ $B = ?$	$B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2}$	$B = \sqrt{(3 \cdot 10^{-3} T)^2 + (4 \cdot 10^{-3} T)^2} = 5 \cdot 10^{-3} T = 5 mT$

8. Radiusi 10 sm bo'lgan tokli halqa induksiyasi 20 mT bo'lgan bir jinsli magnit maydonga joylashgan. Agar halqadan 2A tok o'tayotgan bo'lsa, magnit maydon tomonidan unga qanday maksimal kuch momenti ta'sir qiladi? (Javobi: 1,26 mn · m)

№8	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$B = 20\text{mT} = 20 \cdot 10^{-3}\text{T}$ $R = 10\text{sm} = 10 \cdot 10^{-2}\text{m}$ $I = 2\text{A}$ ----- $M = ?$	$M = I \cdot B \cdot S$ Bunda $S = \pi \cdot R^2$ Demak $M = I \cdot B \cdot \pi \cdot R^2$	$M = 2 \cdot 20 \cdot 10^{-3} \cdot \pi \cdot (10 \cdot 10^{-2})^2 =$ $= 1,26 \cdot 10^{-3}\text{N} \cdot \text{m} = 1,26\text{mN} \cdot \text{m}$

9. Eni 4 sm, bo'yi 8 sm bo'lgan ramka induksiyasi 2T bo'lgan magnit maydonda joylashgan. Undan 0,5A tok o'tganda ramkaga ta'sir qilayotgan maksimal kuch momentini toping. (Javobi: 3,2 mn · m)

№9	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$B = 2\text{T}$ $a = 4\text{sm} = 4 \cdot 10^{-2}\text{m}$ $b = 8\text{sm} = 8 \cdot 10^{-2}\text{m}$ $I = 0,5\text{A}$ ----- $M = ?$	$M = I \cdot B \cdot S$ Bunda $S = a \cdot b$ Demak $M = I \cdot B \cdot a \cdot b$	$M = 0,5 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 10^{-2} \cdot 8 \cdot 10^{-2} =$ $= 32 \cdot 10^{-4}\text{N} \cdot \text{m} = 3,2\text{mN} \cdot \text{m}$

1.0 Magnit maydonda turgan yuzi 80 sm² bo'lgan ramkaga ta'sir qiluvchi maksimal kuch momenti 7,2 mN·m ga teng. Agar ramkadan 0,2A tok o'tayotgan bo'lsa, maydon induksiyasi nimaga teng? (Javobi: 1,2 T)

№10	Berilgan	Formula	Hisoblash
-----	----------	---------	-----------

$M = 7,2 \text{ mN} \cdot \text{m} = 7,2 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}$ $S = 80 \text{ cm}^2 = 80 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ $I = 0,2 \text{ A}$ $B = ?$	$M = I \cdot B \cdot S$ Bundan $B = \frac{M}{I \cdot S}$	$B = \frac{7,2 \cdot 10^{-3}}{0,2 \cdot 80 \cdot 10^{-4}} = 4,5 \text{ T}$
--	--	--

11. Induksiyasi 200 mT bo'lgan magnit maydonda uzunligi 50 sm bo'lgan o'tkazgich joylashtirilgan. Undan 4 A tok o'tganda o'tkazgich 3 sm ga surildi. Bunda . . . tok . . . kuchi . . . qanday . . . ish . . . bajargan?. (Javobi: 12 mJ)

№1	Berilgan	Formula	Hisoblash
1	$B = 200 \text{ mT} = 200 \cdot 10^{-3} \text{ T}$ $l = 50 \text{ sm} = 0,5 \text{ m}$ $s = 3 \text{ sm} = 3 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ $I = 4 \text{ A}$ $A = ?$	$A = F_A \cdot s$ Bunda $F_A = I \cdot B \cdot l \sin \alpha$ Demak $A = I \cdot B \cdot l \cdot s$	$A = 4 \cdot 200 \cdot 10^{-3} \cdot 0,5 \cdot 3 \cdot 10^{-2} = 12 \cdot 10^{-3} \text{ J} = 12 \text{ mJ}$

12. Induksiyasi 0,1 T bo'lgan bir jinsli magnit maydonda induksiya chiziqlariga tik holatda uzunligi 10 sm bo'lgan o'tkazgichdan 2 A tok o'tmoqda. O'tkazgichga magnit maydoni tomonidan ta'sir qilayotgan kuchni hisoblang. (Javobi: 20 mN)

№12	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$B = 0,1 \text{ T}$ $l = 10 \text{ sm} = 0,1 \text{ m}$ $I = 2 \text{ A}$ $\alpha = 90^\circ$ $F_A = ?$	$F_A = I \cdot B \cdot l \sin \alpha$	$F_A = 2 \cdot 0,1 \cdot 0,1 = 2 \cdot 10^{-2} \text{ N} = 20 \text{ mN}$

13. Uzunligi 25 sm bo'lgan o'tkazgichdan 4 A tok o'tmoqda. O'tkazgich induksiyasi 1,2 T bo'lgan bir jinsli magnit maydonning induksiya chiziqlariga 45° burchak ostida

joylashgan. O'tkazgich amper kuchi yo'nalishida 3 sm ga ko'chganda . . . qanday . . . ish.
bajariladi? . (Javobi: 25,4 mJ)

№1	Berilgan	Formula	Hisoblash
3	$B = 1,2T$ $l = 25sm = 0,25m$ $I = 4A$ $\alpha = 45^\circ$ $s = 3sm = 0,03m$ $A = ?$	$A = F_A \cdot s$ Bunda $F_A = I \cdot B \cdot l \sin \alpha$ Demak $A = I \cdot B \cdot l \cdot \sin \alpha \cdot s$	$A = 4 \cdot 1,2 \cdot 0,25 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot 0,03 = 25,4 \cdot 10^{-3} J$ $= 25,4mJ$

14. Uzunligi 40 sm bo'lgan o'tkazgichdan 2,5 atok o'tmoqda. O'tkazgich bir jinsli magnit maydonning induksiya chiziqlariga perpendikular yo'nalishda 8 sm siljiganda, 32 mJ ish bajarilgan. Magnit maydon induksiyasi nimaga . . . teng? .
(Javobi: 0,4 T)

№14	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$l = 40sm = 0,4m$ $I = 2,5A$ $\alpha = 90^\circ$ $s = 8sm = 0,08m$ $A = 23mJ = 32 \cdot 10^{-3} J$ $B = ?$	$A = F_A \cdot s$ Bunda $F_A = I \cdot B \cdot l \sin \alpha$ $A = I \cdot B \cdot l \cdot \sin \alpha \cdot s$ Demak $B = \frac{A}{I \cdot l \cdot \sin \alpha \cdot s}$	$B = \frac{23 \cdot 10^{-3}}{2,5 \cdot 0,4 \cdot 1 \cdot 0,08} = 0,4T$

15. Uzunligi 40 sm bo'lgan o'tkazgich induksiyasi 2,5 T bo'lgan bir jinsli magnit maydonida 12 sm/s tezlik bilan harakatlanmoqda. agar o'tkazgich 3 s ichida

induksiya chiziqlariga perpendikular yo'nalishda 8 sm siljiganda, 144. mJ. ish bajarilgan bo'lsa, o'tkazgichdagi tok kuchi nimaga teng? Magnit maydon induksiya chiziqlari va tok yo'nalishi orasidagi burchakni 90° deb oling. (Javobi: 0,4

a)

№15	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$l = 40 \text{ sm} = 0,4 \text{ m}$ $B = 2,5 \text{ T}$ $\alpha = 90^\circ$ $q = 12 \text{ sm / s} = 0,12 \text{ m / s}$ $t = 3 \text{ s}$ $s = 8 \text{ sm} = 0,08 \text{ m}$ $A = 144 \text{ mJ} = 144 \cdot 10^{-3} \text{ J}$	$A = F_A \cdot s$ Bunda $F_A = I \cdot B \cdot l \sin \alpha$ $A = I \cdot B \cdot l \cdot \sin \alpha \cdot s$	$I = \frac{144 \cdot 10^{-3}}{2,5 \cdot 0,4 \cdot 1 \cdot 0,08} = 0,4 \text{ A}$
	$I = ?$	Demak $I = \frac{A}{B \cdot l \cdot \sin \alpha \cdot s}$	

16. Ikki simli o'zgarmas elektr toki uzatish liniyasi simlarining har bir metr uzunligiga to'o'ri keluvchi o'zaro ta'sir kuchini hisoblang. simlar orasidagi masofa 2 m, tok kuchi 50 aga teng deb oling. (Javobi: 0,25 mn)

№16	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$r = 2 \text{ m}$ $I_1 = I_2 = 50 \text{ A}$	$F = \frac{\mu_0 \mu I_1 I_2}{2\pi r} \cdot l$	$F = \frac{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 1 \cdot 50 \cdot 50}{2 \cdot \pi \cdot 2} = 0,25 \cdot 10^{-3} \text{ N}$ $= 0,25 \text{ mA}$
	$F = ?$	Bunda $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N / A}$	

17. Ikkita parallel tokli o'tkazgichlarning har biridan bir tomonga yo'nalgan 2A tok o'tmoqda. Tokli o'tkazgichlar orasidagi masofa 4 sm. Tokli o'tkazgichlar.

o'rtasidagi . nuqtada . magnit . maydon . induksiyasi . nimaga . teng? . (Javobi: nolga teng)

№17	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$r = 4 \text{ sm} = 0,04 \text{ m}$ $I_1 = I_2 = 2 \text{ A}$ $B = ?$	$B = \frac{\mu_0 I d}{2 R \pi}$ Bunda Magnit induksiya vektorlari qarama-qarshi yo'nalishga ega bo'lsa $B = B_1 - B_2$	$B_1 = B_2$ bo'lgani uchun $B = 0$ bo'ladi

18. $4 \cdot 10^7 \text{ m/s}$ tezlik bilan harakatlanayotgan proton induksiyasi 5 T bo'lgan bir jinsli magnit maydonga uchib kirganda unga qanday kuch ta'sir qiladi? . Zarraning . tezlik . yo'nalishi . va . maydon . induksiya . kuch . chiziqlari . orasidagi burchakni 45° ga teng deb oling. (Javobi: $22,4 \text{ pN}$)

№18	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$\vartheta = 4 \cdot 10^7 \text{ m/s}$ $B = 5 \text{ T}$ $q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ $\alpha = 45^\circ$ $F_L = ?$	$F_L = q \cdot \vartheta \cdot B \cdot \sin \alpha$	$F_L = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 4 \cdot 10^7 \cdot 5 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = 22,4 \cdot 10^{-1}$ $= 22,4 \text{ pN}$

19. Magnit . induksiyasi . $0,3 \text{ T}$. bo'lgan . bir . jinsli . magnit . maydonga . induksiya . chiziqlariga . perpendikular . ravishda . 160 Mm/s . tezlik . bilan .

uchib. . kirgan. . elektronning. . harakat. . trayektoriyasining. . egrilik. . radiusini.
 .toping. (Javobi:3 mm)

№19	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$\vartheta = 160 \text{ Mm/s} = 160 \cdot 10^6 \text{ m/s}$	$F_L = q \cdot \vartheta \cdot B \cdot \sin \alpha$	$R = \frac{9,11 \cdot 10^{-31} \cdot 160 \cdot 10^6}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,3} = 3 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 3 \text{ mm}$
	$B = 0,3 \text{ T}$	$F_{m,q} = \frac{m \cdot \vartheta^2}{R}$	
	$q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$		
	$m = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$	bundan	
	$\alpha = 90^\circ$	$R = \frac{m \cdot \vartheta}{q \cdot B}$	

	$R = ?$		

20. Bir. . jinsli. . magnit. . maydonga. . tik. . uchib. . kirgan. . elektronning. .
 aylanish. . davri. . 8. . ns. . bo'lsa, . . magnit. . maydon. . induksiyasini . . aniqlang.
 (Javobi:4,5 mT)

№20	Berilgan	Formula	Hisoblash
0			
	$T = 8 \text{ ns} = 8 \cdot 10^{-9} \text{ s}$	$F_L = q \cdot \vartheta \cdot B \cdot \sin \alpha$	$B = \frac{2 \cdot \pi \cdot 9,11 \cdot 10^{-31}}{8 \cdot 10^{-9} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} = 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ T}$
	$q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$	$F_{m,q} = \frac{m \cdot \vartheta^2}{R}$	
	$m = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$	$\vartheta = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{T}$	
	$\alpha = 90^\circ$		
	-----	bundan	
	$B = ?$	$B = \frac{2 \cdot \pi \cdot m}{T \cdot q}$	

21. Induksiyasi 1,5 T bo'lgan magnit maydon induksiyasi chiziqlariga tik ravishda
 alfa zarra uchib kirdi. Unga ta'sir qilgan kuch 120 pnga teng bo'lsa, . . uning. . tezligi.
 .qanday. . bo'lgan?. (Javobi:2,5 · 10⁷ m/s)

№21	Berilgan	Formula	Hisoblash
-----	----------	---------	-----------

$F = 120 \cdot 10^{-12} \text{ N}$ $B = 1,5 \text{ T}$ $q = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ $\alpha = 90^\circ$ $\mathcal{E} = ?$	$F_L = q \cdot \mathcal{E} \cdot B \cdot \sin \alpha$ Bundan $\mathcal{E} = \frac{F_L}{q \cdot B \cdot \sin \alpha}$	$\mathcal{E} = \frac{120 \cdot 10^{-12}}{3,2 \cdot 10^{-19} \cdot 1,5 \cdot 1} = 2,5 \cdot 10^7 \text{ V}$
---	--	--

21. Konturni kesib o'tuvchi magnit oqimi 0,4 s ichida 5 Wb dan 13 Wb gacha tekis o'zgardi. konturda hosil bo'lgan induksiya eYukni toping. (Javobi: 20 V)

№21	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$\Phi_1 = 5 \text{ Wb}$ $\Phi_2 = 13 \text{ Wb}$ $t = 0,4 \text{ s}$ $\mathcal{E} = ?$	$\mathcal{E}_1 = -\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ $\mathcal{E} = \frac{\Phi_2 - \Phi_1}{t}$	$\mathcal{E} = \frac{13 - 5}{0,4} = 20 \text{ V}$

22. 250 ta o'ramga ega bo'lgan o'altak ichida magnit oqimi 0,4 s da 2 Wb ga o'zgardi. O'altakda hosil bo'lgan induksiya EYuKni toping. (Javobi: 1250 V)

№22	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$N = 250$ $\Delta \Phi = 2 \text{ Wb}$ $t = 0,4 \text{ s}$ $\mathcal{E} = ?$	$\mathcal{E} = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$	$\mathcal{E} = 250 \cdot \frac{2}{0,4} = 1250 \text{ V}$

23. Magnit oqimining o'zgarish tezligi 0,15 Wb/s bo'lganda, o'altakda 120 V (EYuK) hosil bo'lsa, o'altakdagi o'ramlar soni nechta bo'lgan? (Javobi: 800 ta)

№23	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$\mathcal{E} = 120 \text{ V}$ $\Delta \Phi / t = 0,15 \text{ Wb/s}$ $N = ?$	$\mathcal{E} = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ bundan	$N = \frac{120}{0,15} = 800 \text{ ta}$

$$N = \frac{\varepsilon}{\Delta\Phi / \Delta t}$$

24 Tok kuchi 0,6 A bo'lganda induktivligi 80 mH bo'lgan o'altakda qanday magnit oqimi yuzaga keladi? (Javobi: 48 mWb)

№24	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$I = 0,6 A$ $L = 80 mH = 80 \cdot 10^{-3} H$ ----- $\Phi = ?$	$\Phi = L \cdot I$	$\Phi = 80 \cdot 10^{-3} \cdot 0,6 = 48 \cdot 10^{-3} Wb = 48 mWb$

25. Induktivligi 0,8 H va ko'ndalang kesim yuzi 200 sm² bo'lgan o'altak orqali 2 A tok o'tmoqda. agar o'altak 50 ta o'ramdan tashkil topgan bo'lsa, uning ichidagi magnit maydon induksiyasi qanday? (Javobi: 1,6 T)

№25	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$L = 0,8 H$ $S = 200 cm^2 = 200 \cdot 10^{-4} m^2$ $I = 2 A$ $N = 50$ ----- $B = ?$	$\Phi = L \cdot I$ $\Phi = NBS$ bundan $B = \frac{L \cdot I}{NS}$	$B = \frac{0,8 \cdot 2}{50 \cdot 200 \cdot 10^{-4}} = 1,6 T$

26. Induktivligi 2 H bo'lgan o'altakda o'zinduksiya eYukning qiymati 36 V bo'lishi uchun o'altakdan o'tayotgan tokning o'zgarish tezligi qanday bo'lishi kerak? (Javobi: 18 A/s)

№26	Berilgan	Formula	Hisoblash
-----	----------	---------	-----------

$L = 2H$ $\varepsilon = 36V$ $I / t = ?$	$\varepsilon_{\text{ind}} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$ Bundan $\Delta I / \Delta t = \frac{\varepsilon}{L}$	$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{36}{2} = 18 \frac{A}{s}$
--	--	---

27. O'zaksiz o'altakdagi magnit maydon induksiyasi 25 mT ga teng. Agar o'altak ichiga magnit singdiruvchanligi 60 bo'lgan ferromagnit o'zagi kiritilsa, o'altakdagi magnit maydon induksiyasi qanday bo'ladi? (Javobi: 1,5 T)

№27	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$B = 25mT = 25 \cdot 10^{-3} T$ $\mu = 60$ $B_s = ?$	$B_s = B \cdot \mu$	$B_s = 25 \cdot 10^{-3} \cdot 60 = 1,5T$

28. Tokli o'altakdagi magnit maydon induksiyasi 20 mT ga teng. O'altak ichiga ferromagnit o'zagi kiritilganda unda hosil bo'lgan magnit maydon induksiyasi 180 mT ga ortgan bo'lsa, o'altakka tushirilgan o'zakning magnit singdiruvchanligi nimaga teng? (Javobi:10)

№28	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$B = 20mT = 20 \cdot 10^{-3} T$ $B_s = 180mT = 180 \cdot 10^{-3} T$ $\mu = ?$	$B_s = B \cdot \mu$ Bundan $\mu = \frac{B_s}{B}$	$\mu = \frac{180 \cdot 10^{-3}}{20 \cdot 10^{-3}} = 9$

29. Radiusi 2 sm bo'lgan o'altakdan 3 A tok oqmoqda. O'altak ichiga magnit singdiruvchanligi 20 bo'lgan ferromagnit o'zagi kiritilsa, o'altak ichidagi magnit maydon induksiyasi qanday bo'ladi? Galtakdagi o'ramlar soni 150 ga teng. (Javobi:0,28 T)

№29	Berilgan	Formula	Hisoblash
-----	----------	---------	-----------

$R = 25m = 0,02m$ $I = 3A$ $\mu = 20$ $N = 150$ $B = ?$	Aylana shaklidagi tokli o'tkazgich markazida $B = \frac{\mu_0 \mu I}{2R}$ R-aylana radiusi ferromagnit o'zagi kiritilgan o'altak uchun $B = \frac{\mu_0 \cdot \mu \cdot I \cdot N}{2 \cdot R}$	$B = \frac{7 \cdot 10^{-7} \cdot 20 \cdot 3 \cdot 150}{2 \cdot 0,02} = 0,28T$
---	--	---

30. Solenoiddan 2,5 A tok o'tganda, unda 0,8 mWb magnit oqimi hosil bo'lsa, magnit maydon energiyasini aniqlang (Javobi: 2,5 mJ)

№30	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$\Phi = 0,8mWb = 0,8 \cdot 10^{-3} Wb$ $I = 2,5A$ $W = ?$	$W_{mag}^{max} = \frac{\Phi \cdot I_0}{2}$	$W = \frac{0,8 \cdot 10^{-3} \cdot 2,5}{2} = 1mJ$

31. Induktivligi 5 mh bo'lgan o'altakdan 0,4 atok o'tmoqda. o'altakning magnit maydonning energiyasini toping. (Javobi: 4 mJ)

№31	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$L = 5mH = 5 \cdot 10^{-3} H$ $I = 0,4A$ $W = ?$	$W_{mag}^{max} = \frac{L \cdot I_0^2}{2}$	$W = \frac{5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,16}{2} = 4mJ$

32. G'altakdan 3 A tok o'tganda uning magnit maydon energiyasi 60 mJ ga teng bo'lsa, o'altak induktivligi nimaga teng bo'ladi? (Javobi: 90 mh)

№32	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$W = 60 \text{ mJ} = 60 \cdot 10^{-3} \text{ J}$ $I = 3 \text{ A}$ $L = ?$	$W_{\text{mag}}^{\text{max}} = \frac{L \cdot I_0^2}{2}$ Bundan $L = \frac{2 \cdot W}{I_0^2}$	$L = \frac{2 \cdot 10^{-1} \cdot 60}{9} = 13,3 \text{ mJ}$



7-

§. Vakuumda magnit maydoni

Reja:

1. Vakuumda magnit maydoni.
2. Magnit maydonning tokli o'tkazgich va elektr zaryadlariga ta'siri.
3. Xoll effekti.

Mavzular mazmuni: Vakuumda magnit maydoni. Magnit maydon induksiya vektori. Magnit maydon induksiyasi vektori uchun superpozitsiya printsipli. Bio-Savar-Laplas qonuni. To'g'ri va aylanma tokning magnit maydonini hisoblash. Magnit maydonning tokli o'tkazgich va elektr zaryadlariga ta'siri. Amper kuchi. Parallel toklarning o'zaro ta'siri. Magnit maydonni xarakatdagi zaryadga ta'siri. Lorents kuchi. Bir jinsli magnit maydonida zaryadli zarralar harakati. Xoll effekti. Tezlatgichlar.

Tayanch iboralar: magnit maydoni, induksiya vektori, zarralar harakati, Amper kuchi, Lorents kuchi, Xoll effekti, tezlatgichlar.

MAGNIT MAYDONNI XARAKTERLOVCHI PARAMETRLAR

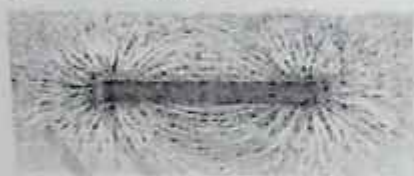
Magnit maydon induksiyasi. Ikkita magnit strelkasi yaqinlashtirilsa, ularning ikkalasi ham burilib, qarama-qarshi qutblari bir-biriga ro'para kelib to'xtaydi. Bu hol magnitlangan jismlar orasida o'zaro ta'sir kuchlari mavjudligini anglatadi. Ta'sir kuchlari esa maydon kuch chiziqlari orqali tavsiflanadi.



6.1-rasm Ikkita magnit strelkasi

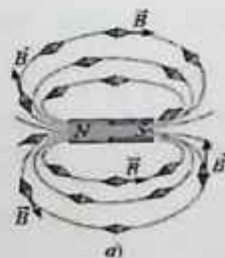
Magnit maydoni kuch chiziqlarini to'g'ridan to'g'ri ko'ra olmaymiz. Ammo quyidagi tajriba yordamida biz magnit kuch chiziqlarining joylashuvi haqida tasavurga ega bo'lamiz. Ikkita magnit strelkasining ta'sirlashishi

Buning uchun karton qog'ozga temir qipqlarini bir tekis sepib, uni yassi magnit o'zagining ustiga qo'yamiz. Qog'ozga yengil zarb berilsa, temir qipqlari rasmda keltirilgan ko'rinishni egallaydi. Karton ustidagi temir qipqlari magnit uchlariga yaqin joylarda zich, qutblar orasida



6.2-Rasm Ikkita magnit strelkasining ta'sirlashuvi

rasmdagi temir qipqlarining egallagan o'rni, magnit qutblarini bir-biriga bog'lovchi kuch chiziqlarini o'zida aks ettiradi. Magnit maydon kuch chiziqlarining yo'nalishi shartli ravishda magnitning shimoliy (N inglizcha - "north", o'zbekcha - "shimol") qutbidan chiqib, uning janubiy (S, inglizcha - "south", o'zbekcha - "janub") qutbiga kiruvchi yopiq chiziqlardan iborat deb qabul qilingan. Elektr maydon kuch chiziqlaridan farqli ravishda magnit maydon kuch chiziqlari berk konturni hosil qiladi. Agar magnit kuch chiziqlari bo'ylab qo'zg'almas o'qqa mahkamlangan magnit strelkachalar qo'yilsa, ular a-rasmda ko'rsatilgandek joylashadi. Bundan, magnit maydon kuch chiziqlari boshlanishi va oxiri bo'lmagan berk kontumi hosil qiladi, degan xulosa chiqarish mumkin. Magnit maydon shu xususiyati bilan ham elektr maydondan farq qiladi.



Magnit maydonning kuch chiziqlari magnitdan uzoqlashishi bilan siyraklasha boradi (ta'siri kuchsizlanadi).

6.3-Rasm. Magnit maydonning kuch chiziqlari

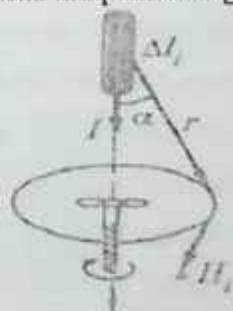
Bu kattalikni xarakterlovchi fizik kattalikka magnit maydon induksiyasi deb ataladi va B harfi bilan belgilanadi. Magnit induksiya vektorining yo'nalishi magnit kuch chizig'ining ixtiyoriy nuqtasiga o'tkazilgan urinma yo'nalishi bilan mos tushadi. Magnit maydon induksiyasining o'lchov birligi qilib XBS da serbiya fizigi Nikola Teslaning sharafiga tesla (T) deb atash qabul qilingan.

Magnitometr - magnit maydon xarakteristikalarini va jismlarning magnit xossalarni o'lchovchi asbob. U: geologiya-qidiruv ishlarida, arxeologik topilmalarni qazib olishda, dengiz va aviatsiya xaritalarida (navigatsiyalarda), suvosti kmalarini aniqlash uchun harbiy razvedkalarda, seysmologiya va ilmiy tadqiqotlarda ishlatiladi. Bio-Savar-Laplas qonuni. Turli shakldagi o'zgarmas tokning magnit maydonlari fransuz olimlari J. Bio (1774-1862) va F.Savar (1791-1841) tomonlaridan o'rganilgan. Tajribalar natijasida esa fransuz fizigi va matematigi P.Laplas (1749-1827) tomonidan umumlashtirilgan. Ushbu qonunda I tok oqayotgan o'tkazgich 6.3-rasm A nuqtasida hosil qilingan magnit induksiya vektorini

Δl elementning biror A nuqtasida hosil qilingan magnit induksiya vektorini qiymati aniqlangan.

$$\Delta B = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot \frac{I \cdot \Delta l \cdot \sin \alpha}{r^2}$$

bu yerda: $\vec{r}$ - o'tkazgichning Δl elementidan A nuqtagacha bo'lgan radius-vektor, r - uning moruli, α - tok yo'nalishi va $\vec{r}$ orasidagi burchak. Formula Bio-Savar-Laplas qonunini ifodalaydi. ΔB ning yo'nalishi o'ng parma qoidasi bo'yicha aniqlanadi. Agar parmaning ilgarilanma harakati tokning yo'nalishi bilan mos kelsa, parma dastasining aylanma harakati magnit induksiya vektorining yo'nalishini ko'rsatadi. **6.4 -rasm Aylanma tokning magnit maydoni**



Magnit induksiya vektori uchun superpozitsiya prinsipi. Elektr maydon uchun bajarilgani kabi magnit maydon uchun ham superpozitsiya prinsipi o'rinlidir. Bir qancha toklar hosil qilgan natijaviy magnit maydonning induksiya, har bir tok hosil qilgan magnit maydon induksiyalarining geometrik yig'indisiga

$$\text{teng, ya'ni } \vec{B} = \sum_{i=1}^n \vec{B}_i = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \dots + \vec{B}_n \quad 6.1$$

bu yerda n – toklar soni Bio-Savar-Laplas qonunini va superpozitsiya prinsipi ba'zi maydonlarni oson hisoblash imkonini beradi.

Aylanma tokning magnit maydoni. Bio-Savar-Laplas qonunidan foydalanib, r – radiusli, I – tok o'tayotgan aylanma o'tkazgichning markazidagi magnit maydon induksiyasini topaylik. Buning uchun o'tkazgichni n ta Δl qismlarga bo'lib chiqamiz. $\Delta l - r$ dan juda kichik bo'lishi kerak. Bio-Savar-Laplas qonuniga muvofiq Δl ning O nuqtada hosil qilgan magnit maydon induksiya:

$$\Delta B_i = \frac{\mu_0 \mu I}{4\pi} \cdot \frac{\sin \alpha}{r^2} \cdot \Delta l \quad 6.2$$

Rasmdan ko'rinib turibdiki, radius-vektor $\vec{r}$ va tok yo'nalishi orasidagi burchak $\alpha = \pi/2$. Demak $\sin \alpha = \sin \pi/2 = 1$.

O nuqtadagi to'la induksiya topish uchun barcha tok elementlari (qismlari) hosil qilgan induksiyalarning superpozitsiyasini topamiz.

$$B = \sum_{i=1}^n \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot \frac{I}{r^2} \cdot \Delta l_i = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot \frac{I}{r^2} \sum_{i=1}^n \Delta l_i \quad 6.3$$

Agar barcha Δl_i larni qo'shib chiqsak, aylananing

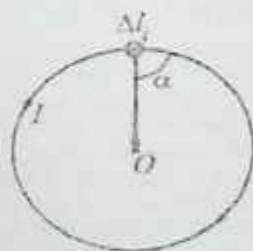
uzunligichiqadi va: $\sum_{i=1}^n \Delta l_i = 2\pi r$

Magnit maydon induksiya: $B = \frac{\mu_0 \mu \cdot I}{2r}$

6.4 ga teng bo'ladi.

Aylanma tokning markazida hosil qiladigan magnit maydon induksiya o'tkazgichdan **6.5-Rasm Aylanma tokning magnit maydon**

oqadigan tok kuchiga to'g'ri proporsional, aylanma tok radiusiga esa teskari proporsional bo'ladi. Induksiya vektorining yo'nalishi esa parma qoidasiga muvofiq aniqlanadi.



Agar parma dastasining harakati tok yo'nalishi bilan mos kelsa, parma uchining ilgariylanma harakati induksiya vektorining yo'nalishini ko'rsatadi

To'g'ri o'tkazgichning magnit maydoni.

Cheksiz uzun, ingichka o'tkazgichdan tok oqqanda undan R masofada bolgan

nuqtadagi magnit maydon induksiyasi:
$$B = \frac{\mu_0 \mu \cdot I}{2\pi R} \quad 6.6$$

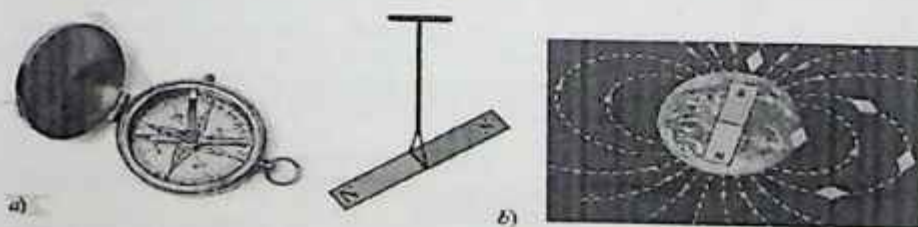
Solenoid yoki toroidning magnit maydoni. Cheksiz uzun solenoid yoki toroiddan tok oqqanda uning ichidagi magnit maydon induksiyasi:

$$B = \mu_0 \mu \cdot I \cdot n \quad 6.7$$

Bu yerda n – solenoid yoki toroidning birlik uzunligiga to'g'ri keluvchi o'ramlar soni. Yerning magnit maydoni. Tabiatdagi go'zal hodisalaridan biri - qutb yog'dusidir. Qutb yog'dusi Yerning shimoliy va janubiy qutblari yaqinida yer yuzidan 80-1000 km gacha balandli kda ro'y beradi. Bunga sabab, Yer sharining ulkan magnitdan iborat ekanligidir. Quyosh nurlarining zaryadlangan, o'ta kuchli oqimlari sayyoramizga yetib kelgamida, qutblarda og'adi. Demak, Yerning magnit maydoni himoya qobig'i vazifasini bajaradi.

Yerning magnit maydoni using sirtidagi jismlarga qanday ta'sir ko'rsatadi?

Kompas strelkasi yoki ipga osilgan doimiy magnit janubdan shimolga tomon yo'nalish bo'ylab joylashadi. Bu yerning magnit kuch chiziqlari shimoliy magnit qutbdan janubiy magnit qutbga tomon yo'nalganligi, ya'ni yer sharining magnit maydon bilan o'ralga- ni orqaE izohlanadi b-rasm). Rasmdagi (N dan S ga yo'nalgan) kuch chiziqlarining ixtiyoriy nuqtasiga qo'yilgan kompas shu chizdqlar yo'nalishida burilishini (joylashishini) bildiradi. Demak, kompas bizga «yo'l ko'rsatmaydi», u biz turgan joyda nisbatan Yer sharining shimoliy va janubiy geografik qutblarini ko'rsatadi.



6.6-Rasm. Yer sharining shimoliy va janubiy geografik qutblari

Yerning janubiy magnit qutbi (S) 75° shimoliy kenglik va 99° g'arbiy uzunlik yaqinida, Yer sharining shimoliy geografik qutbidan taxminan 2100 km uzoqlikda joylashgan. Shimoliy magnit qutbi (N) esa Yerning janubiy geografik qutbi yaqinida bo'lib, $66,5^\circ$ janubiy kenglik va 1400 sharqiy uzunlikda goylashgan.

TOKNING MAGNIT MAYDONI

Ersted tajribasi. Magnit maydonning elektr toki bilan bog'liqligini tajribada birinchi bo'lib 1820-yilda daniyalik fizik Xans Kristian Ersted aniqlagan. Ersted tajribasini o'tkazib ko'rish uchun rasmda tasvirlangan zanjirni yig'amiz. Zanjir tok manbai, reostat, kalit, o'tkazgich (sim)dan iborat. O'tkazgich simlaridan bin janubdan shimolga tomon tarang tortilgan bo'lsin. Magnit strelkasini rasmda ko'rsatilganidek o'tkazgich ostiga qo'yaylik (a-rasm). Bunda strelkani sim bo'ylab joylashtiramiz. Endi kalitni ulab, o'tkazgichdan tok o'tkazaylik. Shu zahoti tok o'tayotgan sim ostidagi magnit strelkasi 90° burchakka burilib, simga perpendikular joylashib qoladi (b-rasm). Demak, tokli o'tkazgich atrofida magnit maydoni yuzaga keladi va magnit strelkasini buradi. Ersted tajribasi tok o'tayotgan o'tkazgich atrofida magnit maydon bor ekanligini ko'rsatadi.

Demak, tokli o'tkazgich atrofida magnit maydoni yuzaga keladi va magnit strelkasini buradi. Ersted tajribasi tok o'tayotgan o'tkazgich atrofida magnit maydon bor ekanligini ko'rsatadi.



6.7-Rasm. Magnit maydonning elektr toki bilan bog'liql.

Demak, tokli o'tkazgich atrofida magnit maydoni yuzaga keladi va magnit strelkasini buradi. Ersted tajribasi tok o'tayotgan o'tkazgich atrofida magnit maydon bor ekanligini ko'rsatadi. To'g'ri tokning magnit maydoni. O'tkazgichdan elektr toki o'tganda uning atrofida magnit maydon mavjudligini quyidagi tajribada ham kuzatish mumkin.

Qalin karton qog'ozi olib, uning o'rtasidan teshib to'g'ri o'tkazgichni o'tkazamiz. Karton ustiga mayda temir kukunlarini sepamiz. O'tkazgich uchlarini tokka ulab,

kartonni yengil silkitamiz. Tennis kukunlari tokning magnit maydoni taʼsirida magnitlanib, oʻzini kichik magnit strelkasi kabi tutadi va ular magnit induksiya chiziqlari boʻylab joylashadi. Tokli oʻtkazgich atrofida hosil boʻladigan magnit maydon kuch chiziqlari doimiy magnitning atrofidagi maydon kuch chiziqlariga oʻxshash boʻladi.

Tajribani davom ettirib, tok oʻtayotgan storjen atrofida mayda magnit strelkalarini qoʻyaylik. Shu zahoti strelkalar magnit kuch chiziqlarining yoʻnalishida tartibli joylashib qoladi (a-rasm). Storjendagi tok yoʻnalishi oʻzgartirilib shu zahoti barcha magnit strelkalari 180° ga buriladi (b-rasm). Demak, tokning magnit kuch chiziqlari yoʻnalishi oʻtkazgichdagi tokning yoʻnalishiga bogʻliq.



6.7-Rasm. Toʻgʻri tok atrofidagi magnit maydonni

Toʻgʻri tok atrofidagi magnit maydonning kuch chiziqlari aylanalardan iborat boʻlib, uning yoʻnalishini parma qoidasi orqali tashvutirish mumkin. Agar parmaning ilgariylanma harakati tok yoʻnalishi bilan bir xil boʻlsa, u holda parma dastasining aylanish yoʻnalishi magnit induksiya chiziqlarining yoʻnalishini koʻrsatadi.

Gʻaltakning magnit maydoni. Ersted tomonidan tokli oʻtkazgichning magnit maydoni kashf etilishi elektromagnetizm sohasidagi tadqiqotlarga turtki boʻldi. 1820-yilda fransuz fiziklari Andre Mari Amper va Dominik Fransua Arago oʻtkazgich (gʻaltak)dan aylanma holatida tok oʻtkazib, bunda toʻgʻri tok maydoniga nisbatan kuchli magnit maydoni hosil boʻlishini aniqladilar. Simni spiral shakliga keltirib, uning ikki tomoniga ikkita magnit strelkasini yaqinlashtiramiz.



6.8-Rasm Gʻaltakning magnit maydoni

Simdan tok o'tkazsak, ikkala strelka ham spiral o'qi tomon buriladi. Bunda strelkalarning qutblari bir xil yo'nalishda joylashadi. Metall simni spiral shaklida organik shisha orqali o'tkazaylik. Uning ustiga temir kukunlarini sochaylik.

Simdan tok o'tkazilsa, temir kukunlari tokning magnit kuch chiziqlari yo'nalishida joylashadi. Temir kukunlari o'miga magnit strelkalari joylansa manzara yanada yaqqolroq namoyon bo'ladi.

Spiral shaklidagi simlar o'ramini solenoid deb yuritiladi.



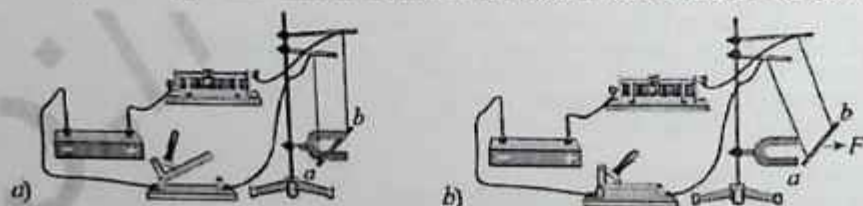
6.9-Rasm Spiral shaklidagi magnit maydon

Tok o'tayotgan g'altak atrofida magnit maydon mavjud bo'lib, uning ichidagi magnit kuch chiziqlari o'zaro parallel bo'ladi. Tokli g'altak magnit strelkasi kabi ikkita magnit qutbiga ega.

MAGNIT MAYDONNING TOKLI O'TKAZGICHGA TA'SIRI

Amper kuchi. Magnit maydonning tokli o'tkazgichga ta'sirini 1820-yilda Amper tajribada aniqlagan. Magnit maydon tomonidan o'tkazgichning to'g'ri qismiga ta'sir etuvchi kuch formulasi va Amperning tajribasi bilan tanishib chiqamiz. Taqasimon doitniy magnitni gorizontal holda shtativga mahkamlaymiz. Shtativga osilgan o'tkazgichni taqasimon magnitning o'rtasiga joylashtiramiz. Bunda o'tkazgichning magnit maydonda joylashgan qismining uzunligini Δl deb olamiz.

Zanjir ulanganda o'tkazgich harakatga keladi, ya'ni o'tkazgich magnitga tortiladi (b-rasm). Agar magnitning qutblari almashtirib o'matilsa, o'tkazgich magnitdan itariladi. Metall ($\Delta l = a \cdot b$) qismi F kuch ta'sirida vertikalidan biror burchakka buriladi.



6.10-Rasm. Magnit maydonning tokli o'tkazgichga ta'siri

Magnit maydon tomonidan shu maydonda joylashgan tokli o'tkazgich qismiga ta'sir qiluvchi kuch F , tok kuchi (I), o'tkazgich uzunligi (Δl) ga hamda magnit induksiyasiga to'g'ri proporsional bo'ladi.

$$F = B I \Delta l \quad 6.8$$

Bu ifoda M.A. Amper sharafiga Amper kuchi deyiladi. Bundan magnit induksiya

$$\text{ifodasini yozamiz: } B = \frac{F}{I \Delta l} \quad 6.9$$

Bu ifodaga ko'ra magnit induksiyaning fizik ma'nosi - bu magnit maydonida perpendikular joylashgan, uzunligi 1 m va o'tayotgan tok 1 A bo'lgan o'tkazgichga magnit maydon tomonidan ta'sir etayotgan kuchga son qiymati jihatidan teng bo'lgan

$$\text{kattalik: } [B] = \frac{1 \text{ N}}{1 \text{ A} \cdot 1 \text{ m}} = 1 \text{ T Tesla} \quad 6.10$$

Chap qo'l qoidasi. Magnit maydon tomonidan tokli o'tkazgichga ta'sir etuvchi kuchining yo'nalishini chap qo'l qoidasidan foydalanib aniqlash mumkin.

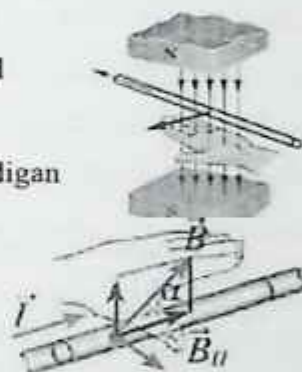
Chap qo'lning kaftini unga magnit kuchi chiziqlari tik kiradigan qilib tutib, ochilgan to'rt barmoq tokning yo'nalishi bo'yicha tutib turilsa, 90° ga kerilgan bosh barmoq o'tkazgichga ta'sir etuvchi kuchning yo'nalishini ko'rsatadi.

Tokli o'tkazgichlarning o'zaro ta'sir kuchi

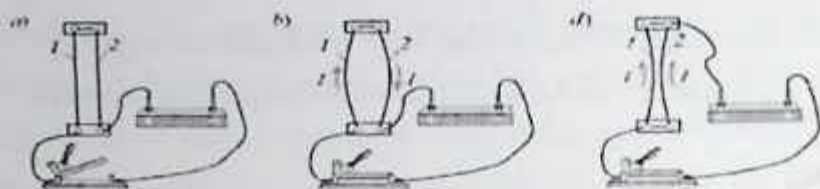
Tokli o'tkazgichlar ham xuddi doimiy magnitlardek

o'zaro ta'sirlashadi. Bunga quyidagi parallel toklarning o'zaro ta'sirini kuzatish orqali ishonch hosil qilish mumkin. Ikkita elastik o'tkazgich olib, ularni vertikal holatda tayanchga mahkamlaymiz

Agar o'tkazgichlarning yuqori qismini sim orqali ulab, kalitni ulasak o'tkazgichlardan qarama-qarshi yo'nalishda tok oqadi (b-rasm). Natijada o'tkazgichlar hir-biridan itarilib, orasidagi masofa uzoqlashadi. Agar o'tkazgichlarni parallel ulasak, ya'ni ulardan bir xil yo'nalishda tok o'tganda, o'tkazgichlar bir-biriga tortiladi (d-rasm).



6.11-rasm. Chap qo'l qoidasi



6.12-rasm. Tokli o'tkazgichlarning o'zaro ta'sir kuchi

Qarama-qarshi yo'nalishda toklar o'tayotgan o'tkazgichlar o'zaro itarishadi, bir xil yo'nalishda toklar o'tayotgan o'tkazgichlar o'zaro tortishadi.

Tajribalar asosida chiqarilgan bu xulosa A.M.Amperga tegishli bo'lib, tok kuchining birligi quyidagicha ta'riflanadi: tok kuchining birligi amper qilib shunday tok kuchi qabul qilinadiki, bu tok ta'sirlarda uzunligi 1 m bo'lgan parallel o'tkazgichlar o'zaro $2 \cdot 10^{-7}$ N kuch bilan ta'sirlashadi.

MAGNIT MAYDONDA ZARYADLI ZARRANING HARAKATI

Lorens kuchi. Magnit maydonda harakatlanayotgan zaryadli zarraga shu maydon tomonidan ta'sir etuvchi kuch golland fizigi Xendrika Antona Lorens (1853 1928) sharafiga uning nomi bilan ataladi.

Harakatlanayotgan zaryadli zarraga magnit maydoni tomonidan ta'sir etadigan kuch Lorens kuchi deb ataladi.

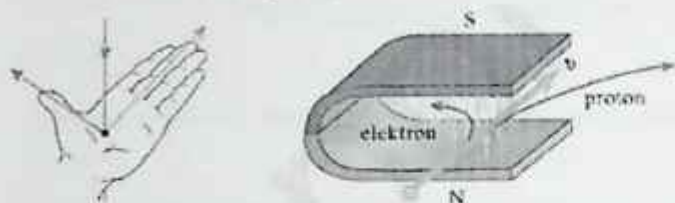
Magnit maydon kuch chiziqlariga tik ravishda harakatlanayotgan har bir zaryadli zarraga magnit maydon tomonidan ta'sir etadigan Lorens kuchi quyidagi ifoda asosida aniqlanadi:

$$F_L = q \cdot \vec{v} \cdot \vec{B} \quad 6.11$$

Bir jinsli magnit maydonida harakatlanayotgan zaryadli zarraga ta'sir etuvchi kuch zarraning zaryadiga, uning harakat tezligi » ga, magnit maydon induksiya vektori B ga ko'paytmasiga teng bo'ladi.

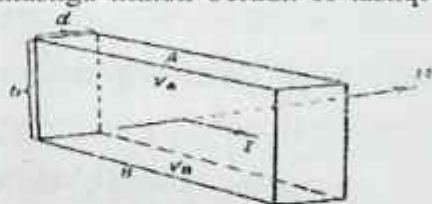
Lorens kuchining yo'nalishi ham Amper kuchi kabi chap qo'l qoidasi yordamida aniqlanadi: Agar chap qo'lning kaftiga magnit induksiya vektorini tik tu- shadigan va ko'rsatkich barmoqlar yo'nalishi musbat zaryadning yo'nalishi bilan bir xil bo'lsa, u holda 90° ga kerilgan bosh barmoq Lorens kuchining yo'nalishini ko'rsatadi. Magnit maydonga uchib kirayotgan protonga ta'sir qilayotgan Lorens kuchi, chap qo'l qoidasiga ko'ra, o'ng tomonga yo'nalgan bo'ladi, Chiztnada magnit induksiya chiziqlari tepaga (N dan S ga) yo'nalgan. Maydondagi elektronning harakatini

aniqlashda, to'rtta barmog'imizni tok yo'nalishiga qarama-qarshi holatda joylaymiz. Bundan elektronga ta'sir qiluvchi Lorens kuchi chap tomonga yo'nalgan bo'ladi. Agar zaryadli zarra magnit induksiya chiziqlari bo'ylab harakatlansa, unga magnit maydon tomonidan kuch ta'sir qilmaydi.



6.12-rasm Agar chap qo'l qoidasi.

Xoll effekti. Magnit maydonda harakatlanayotgan elektr zatydg ta'sir etuvchi Lorens kuchining mavjudligi quyidagi hodisani izohlashga imkon beradi: H tashqi magnit maydon chiziqlariga perpendikulyar joylashtirilgan o'tkazgichdan yasalgan plastinka bo'ylab I tok o'tganda plastinkaning A va B yoqlari orasida



$V_A - V_B$ potentsiallar ayirmasi hosil bo'ladi.

6.13-Rasm Xoll effekti

Bu hodisa Xoll effekti deb ataladi. Hosil bo'lgan $V_A - V_B$ potentsiallar ayirmasi tok kuchi bilan magnit maydon kuchlanganligining IH ko'paytmasiga to'g'ri proporsional va plastinkaning d qalinligiga teskari proporsional bo'ladi:

$$V_A - V_B = K \frac{I \cdot H}{d}$$

Bu yerda K – doimiy kattalik. $K=1/ne$ bo'lib agar erkin yugurish yo'li uzunligida elektronning tezligi tok oqayotgan yo'nalishda tekis o'sib borishini hisobga olsak u holda $K = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{ne}$ ni hosil qilamiz.

Tezlatkichlar. Atom yadrosining tarkibini o'rganish uchun uning ichiga “qarash” ya'ni “nigoh tashlash” kerak bo'ladi. Bunday qarash kata energiyali zarralar yordamida amalga oshiriladi. Yadroga urilgan zarra undan sochilishi, parchalanishi, yutilishi yoki biror qismini urib chiqarishi mumkin. Aynan shu natijalar asosida yadroga “qarsh” va uning tarkibini, tuzilishi, xossalari haqida xulosa chiqariladi.

Bunday ishlarni amalga oshiradigan zarralarga kata energiyani esa tezlatkichlar yordamida beriladi.

Zaryadlangan zarralarning tezlatkichlari deb elektr va magnit maydonlari ta'sirida yuqori energiyali zaryadlangan zarralar (elektronlar, protonlar, mezonlar va) dastasi hosil qilinadigan va boshqariladigan qurilmaga aytiladi.

Nazorat savollar.

1. Toklarning o'zaro ta'siri. Magnit maydon. Konturning magnit momenti nimadan iborat.
2. Magnit maydon. Magnit maydon induktsiyasi va uning o'lchov birligi nima.
3. Bio-Savar-Laplas qonuni. To'g'ri tokning magnit maydoni qanday shaklda bo'ladi.
4. Bio-Savar-Laplas qonuni. Aylanma tokning markazidagi magnit maydoni qanday
5. Amper kuchi nima. Amper kuchining yo'nalishi qanday aniqlanadi.
6. Lorents kuchi nima. Lorents kuchining yo'nalishi qanday aniqlanadi.
7. Parallel toklarning o'zaro ta'siri qanday aniqlanadi.

ELEKTROMAGNETIZM

Asosiy tushunchalar va formulalar

Magnit maydon induksiya vektori. Tokli yassi konturning magnit momenti:

$$B = \frac{M}{IS}, \quad \left(\frac{N}{A \cdot m} = T \right).$$

$$\vec{p}_M = IS \vec{n}, \quad \vec{p}_M = IS,$$

bu yerda: M-aylantiruvchi moment yoki kuch momenti, I-konturdagi tokning kuchi, S-

kontur yuzi, $\vec{n}$ -kontur tekisligi normalining birlik vektori. $\vec{n}$ ning yo'nalishi tokning yo'nalishi bilan o'ng parma qoidasi orqali bog'langan.

Amper qonuni-tokli o'tkazgichning Δl -uzunlikli to'g'ri qismiga magnit maydon tomonidan ta'sir qiluvchi kuch :

$$F = B I \Delta l \sin \alpha,$$

bu yerda, I -tok kuchi, B -magnit maydonning o'tkazgichning Δl uzunlikli qismi joylashgan joyidagi induksiya, α -tok yo'nalishi bilan magnit induksiya vektori $\vec{B}$ orasidagi burchak.

Bir jinsli magnit maydondagi tokli yassi konturga ta'sir etuvchi kuch momenti:

$$\vec{M} = IS \left[\vec{n} \vec{B} \right] = p_m \left[\vec{n} \vec{B} \right], \quad M = ISB \sin \alpha = p B \sin \alpha,$$

bu yerda α - $\vec{n}$ va $\vec{B}$ vektorlar orasidagi burchak.

Lorens kuchi-harakatlanayotgan q zaryadli zarrachaga magnit maydon tomonidan

ta'sir qiladigan kuch:
$$F_A = |q| \mathcal{B} \sin \alpha,$$

bu yerda α -tezlik vektori $\vec{v}$ bilan magnit induksiya vektori $\vec{B}$ orasidagi burchak.

Induksiya $\vec{B}$ bo'lgan bir jinsli magnit maydonda induksiya chiziqlariga tik ravishda

$\vec{v}$ tezlik bilan harakatlanayotgan q zaryadli va m massali zarracha trayektoriyasining egirlik radiusi r va zarrachaning aylanish davri T :

$$r = \frac{mv}{|q|B}, \quad T = \frac{2\pi m}{|q|B}.$$

Bir jinsli muhitdagi magnit induksiya

$$B = \mu B_0,$$

bu yerda: B_0 - vakuumda o'sha nuqtadagi magnit induksiya, μ -muhitning magnit singdiruvchanligi.

Amper qonuni-ikkita parallel, cheksiz uzun tokli o'tkazgichlarning Δl uzunligiga to'g'ri keladigan o'zaro ta'sir kuchi:

$$F = \frac{\mu_0 \mu I_1 I_2}{2\pi r} \Delta l,$$

bu yerda: I_1 va I_2 -o'tkazgichlardagi tok kuchlari, r -o'tkazgichlar orasidagi masofa, $\mu_0=4\pi \cdot 10^{-7}$ NA2-magnit doimiysi. (Bu formula HBC birliklar sistemasida o'rinli).

To'g'ri tok maydonining magnit induksiya va kuchlanganligi:

$$B = \frac{\mu_0 \mu I}{2\pi \cdot R}, \quad H = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{I}{R}$$

bu yerda R-berilgan nuqtadan tokli o'tkazgichgacha bo'lgan masofa.

Tokli doiraviy o'tkazgichning markazidagi magnit induksiya va kuchlanganligi:

$$B = \frac{\mu_0 \mu I}{2R}, \quad H = \frac{I}{2R}$$

bu yerda R-o'tkazgich hosil qilgan aylananing radiusi.

Tokli solenoid o'zagidagi magnit maydonning induksiyasi va kuchlanganligi:

$$B = \mu_0 \mu I n = \mu_0 \mu I \frac{N}{l}; \quad H = I n = I \frac{n}{l}$$

bunda I-solenoiddan o'tayotgan tokning kuchi, $n = \frac{N}{l}$ -solenoidning usunlik birligiga mos kelgan o'ramlar soni, l-solenoidning uzunligi, N-o'ramlar soni.

Tokli toroid (markaslari aylana bo'ylab joylashgan bir xil aylana o'tkazgichlar sistemasi) o'zagidagi magnit maydonning induksiyasi va kuchlanganligi:

$$B = \mu_0 \mu I n = \mu_0 \mu I \frac{N}{2\pi R}; \quad H = I n = I \frac{N}{2\pi R}$$

bunda R-toroid o'qining egrilik radiusi.

Bir necha tokning birgalikda hosil qiladigan maydonning magnit induksiyasi (superpozitsiya prinsipi):

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3 + \dots + \vec{B}_N,$$

bu yerda B1, B2, B3,-mos ravishda 1,-2,-3,-...,N-toklar magnit maydonining induksiyalari.

Magnit maydon induksiyasi B bilan kuchlanganligi H orasidagi munosabat:

$$B = \mu_0 \mu H; \quad H = \frac{B}{\mu_0 \mu}$$

S sirt orqali magnit maydon oqimi (magnit induksiya vektori oqimi):

$$\Phi = B S \cos \alpha,$$

bu yerda α -magnit induksiya vektori $\vec{B}$ bilan yuzaning musbat normali orasidagi burchak.

O'zgaras I tokli kontur tashqi magnit maydonda ko'chirilganda Amper kuchlari tomonidan bajariladigan ish:

$$A = I(\Phi_2 - \Phi_1) = I\Delta\Phi,$$

bu yerda Φ_1 va Φ_2 -kontur orqali ko'chishning boshidagi va oxiridagi magnit oqimlari, $\Delta\Phi$ -magnit oqimining o'zgarishi.

Masala yechish namunalari.

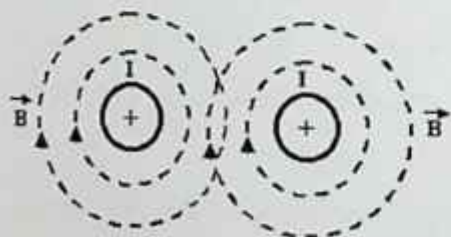
1-misol. Bir-biridan 30 sm masofada joylashgan ikkita parallel sim bo'yicha bir xil yo'nalishda o'zgaras tok o'tadi. Sim mahkamlangan tayanchlar orasidagi masofani(simlarning uzunligi) 50 m. Simlardagi tok kuchi 150 A. Simlarning o'zaro ta'sir kuchi modulini va yo'nalishini aniqlang.

Berilgan: $I_1=I_2=I = 150$ A-har bir simdagi tok kuchi; $a=0,3$ m-simlar orasidagi masofa; $l=50$ m-tayanchlar orasidagi masofa; jadvaldan: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Hm-magnit doimiysi; $\mu=1$ -havoning magnit singdiruvchanligi.

Topish kerak: F-simlarning o'zaro ta'sir kuchini (moduli va yo'nalishini).

Yechilishi. Simning aktiv qismi uzunligi sifatida tayanchlar orasidagi masofani qarab chiqamiz. $l \gg a$ ni hisobga olib, simni cheksiz uzun deb hisoblash mumkin, u holda o'zaro ta'sir kuchini quyidagi formuladan topamiz:

$$F = \mu_0 \mu \frac{I^2 l}{2\pi a}; \quad F = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m} \cdot 1 (150 \text{ A})^2 50 \text{ m}}{2\pi \cdot 0,3 \text{ m}} = 0,75 \text{ N}.$$



12.1- rasm

Simlarga ta'sir etuvchi kuchning yo'nalishini aniqlash uchun 12.1-rasmdan foydalanamiz. Simlar orasida(ichki tomonda) magnit maydon zaiflashadi (induksiya chiziqlari bir-biriga qarab yo'nalgan), tashqi tomonda ikkala simning maydon induksiya chiziqlari bir xil yo'nalishga ega-bu yerda maydon kuchaygan, demak, bir xil yo'nalgan tokda simlar o'zaro tortishishi kerak.

javobi. Simlarning o'zaro tortishish kuchi 0,75 N ga teng.

2-misol. Uzunligi 0,5 m bo'lgan simga undagi tok kuchi 4 A bo'lganda, induksiya chizig'i bilan 90o burchak hosil qilganda bir jinsli maydon 2,8 N kuch bilan ta'sir qiladi. 30o burchakda o'sha maydon o'tkazgichga qanday kuch bilan ta'sir qiladi?

Berilgan: $l=0,5$ m-simning uzunligi; $I=4$ A-simdagi tok kuchi; $F=2,8$ N-burchak 90o bo'lgandagi Amper kuchi; $\alpha_1=90o$, $\alpha_2=30o$ -birinchi va ikkinchi holatlarda sim yo'nalishi bilan induksiya chiziqlari orasidagi burchaklar.

Topish kerak: F_2 -o'tkazgichga ta'sir qiluvchi kuchni.

Yechilishi. Amper formulasi $F_1 = BIl \sin \alpha$ dan bir jinsli magnit maydon induksiya aniqalaymiz:

$$B = \frac{F_1}{Il \sin \alpha_1}; \quad B = \frac{2,8 \text{ H}}{4 \text{ A} \cdot 0,5 \text{ m} \cdot 1} = 1,4 \text{ T}.$$

Magnit induksiya bilgan holda, agar burchak 30o ga teng bo'lsa, magnit maydonning tokli o'tkazgichga ta'sir kuchini aniqlash mumkin:

$$F_2 = BIl \sin \alpha_2; \quad F_2 = 1,4 \text{ T} \cdot 4 \text{ A} \cdot 0,5 \text{ m} \cdot 0,5 = 1,4 \text{ N}.$$

javobi. Ikkinchi holda o'tkazgichga 1,4 N kuch ta'sir qiladi.

3-misol. $5 \cdot 10^{-2}$ T induksiya bir jinsli magnit maydonda uzunligi 0,8 m bo'lgan o'tkazgich ko'chirilmoqda. O'tkazgichdagi tok kuchi 15 A. O'tkazgich magnit induksiya vektoriga 30o burchak ostida joylashgan. O'tkazgichga ta'sir etuvchi kuchni va o'tkazgichni 1,8 m masofaga ko'chirishda magnit maydon bajargan ishni toping.

Berilgan: $B=5 \cdot 10^{-2}$ T -magnit maydon induksiya; $l=0,8$ m-o'tkazgichning uzunligi; $I=15$ A -o'tkazgichdagi tok kuchi; $\alpha = 30^\circ$ - $\vec{l}$ va $\vec{B}$ vektorlar orasidagi burchak; $b=1,8$ m -o'tkazgich ko'chgan masofa.

Topish kerak: F-o'tkazgichga ta'sir etuvchi kuchni; A-o'tkazgichni ko'chirishda magnit maydon bajargan ishni.

Yechilishi. Bir jinsli magnit maydonida tokli o'tkazgichga Amper kuchi ta'sir qiladi.

$$F = BIl \sin \alpha; F = 5 \cdot 10^{-2} \text{ T} \cdot 15 \text{ A} \cdot 0,8 \text{ m} \cdot 0,5 = 0,3 \text{ N}.$$

O'tkazgichga ta'sir etuvchi kuchni va u ko'chgan masofani bilgan holda ishni aniqlash mumkin.

$$A = F \cdot b; A = 0,3 \text{ N} \cdot 1,8 \text{ m} = 0,54 \text{ J}.$$

javobi. Magnit maydon tokli o'tkazgichga 0,3 N kuch bilan ta'sir qiladi va uni ko'chirishda 0,54 J ish bajaradi.

4-misol. Uzunligi 30 sm bo'lgan solenoid 3000 o'ramga ega. Bitta o'ramning diametri 11 sm. Tok kuchi 1,5 A bo'lganda solenoid ichidagi magnit maydon induktsiyasini va o'ramlar yuzi orqali o'tuvchi magnit oqimini aniqlang. Agar solenoid ichiga temir karbid yasalgan o'zak joylashtirilsa, induksiya va magnit oqimi qanday o'zgaradi?

Berilgan: $l = 0,3 \text{ m}$ -solenoidning uzunligi; $N = 3000$ solenoiddagi o'ramlar soni; $d = 11 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ -bir o'ramning diametri; $I = 1,5 \text{ A}$ -tok kuchi; jadvaldan; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Hm}$ -magnit doimiysi; $\mu = 3000$ -temir karbidning magnit singdiruvchanligi.

Topish kerak: B_1 -o'zaksiz solenoiddagi magnit maydon induktsiyasini, B_2 -o'zakli solenoiddagi magnit maydon induktsiyasini; F_1 va F_2 -oldingi shartlarga mos ravishda magnit oqimlarini.

Yechilishi. Solenoidning yetarlicha uzunligini hisobga olib, bir jinsli solenoid ichidagi o'q bo'ylab yo'nalgan magnit maydonni hisoblaymiz. Magnit maydon induktsiyasini quyidagi formula bo'yicha aniqlaymiz:

$$B = \mu_0 \mu \frac{IN}{l}.$$

O'zak bo'lmaganda $\mu = 1$ (havo uchun). U holda.

$$B_1 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m} \cdot \frac{1,5 \text{ A} \cdot 3000}{0,3 \text{ m}} = 1,9 \cdot 10^{-2} \text{ T}.$$

O'zak bo'lganda magnit maydon induktsiyasi μ marta ortadi:

$$B_2 = 3000 \cdot 1,9 \cdot 10^{-2} \text{ T} = 57 \text{ T}.$$

Magnit oqimini quyidagi formula bilan aniqlaymiz:

$$F = BS \cos \alpha. \text{ Berilgan misolda } \alpha = 0 \text{ va } \cos \alpha = 1, \text{ yuza esa } S = \frac{\pi d^2}{4}.$$

U holda:

$$\Phi_1 = B \frac{\pi d^2}{4}; \quad \Phi_1 = \frac{1,9 \cdot 10^{-2} \text{ T} \cdot 3,14 \cdot 121 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}{4} = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}.$$

O'zak mavjud bo'lganda

$$\Phi_2 = 3000 \cdot 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ Wb} = 0,54 \text{ Wb}.$$

javobi. O'zaksiz solenoiddagi magnit maydon induktsiyasi $1,9 \cdot 10^{-2} \text{ T}$ va o'zak mavjud bo'lganda esa 57 T ; yuqoridagi shartlarda magnit oqimi mos ravishda $1,8 \cdot 10^{-4}$ va $0,54 \text{ Wb}$ ga teng.

5-misol. Tokli o'tkazgich radiusi 10 sm bo'lgan aylana shakliga keltirildi. Bu holda konturning magnit momenti $0,314 \text{ A} \cdot \text{m}^2$ ga teng bo'ldi. Konturdagi tok kuchini va $5 \cdot 10^{-3} \text{ T}$ induktsiyali bir jinsli magnit maydon tomonidan ta'sir etuvchi maksimal aylantirish momentini aniqlang.

Berilgan: $r = 0,1 \text{ m}$ -bir o'ramning radiusi $p_m = 0,314 \text{ A} \cdot \text{m}^2$ -konturning magnit momenti; $B = 5 \cdot 10^{-3} \text{ T}$ -magnit maydon induktsiyasi.

Topish kerak: I -konturdagi tok kuchini; M_{maks} -maksimal aylantirish momentini.

Yechilishi. Konturning magnit momentini bilgan holda undagi tok kuchini aniqlaymiz: $p_m = IS$ bunda $S = \pi r^2$. U holda $p_m = I \pi r^2$, bundan

$$I = \frac{p_m}{\pi r^2}; \quad I = \frac{0,314 \cdot \text{A} \cdot \text{m}^2}{3,14 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2} = 10 \text{ A}.$$

Maksimal magnit momenti quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$M_{\text{maks}} = r m B; \quad M_{\text{maks}} = 0,314 \text{ A} \cdot \text{m}^2 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \text{ T} \approx 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}.$$

javobi. Konturdagi tok kuchi 10 A ; maksimal aylantirish momenti taxminan $1,6 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}$ ga teng.

6-misol. Proton 1 kV potentsiallar ayirmasini o'tib, tezlik oladi va induktsiya chiziqlariga perpendikulyar bo'lgan 0,2 T induktsiyali bir jinsli magnit maydonga tushadi. Proton harakatlanadigan aylana radiusini va uning aylanish davrini aniqlang. Berilgan: $U=1000$ V-tezlatuvchi potentsiallar ayirmasi; $B=0,2$ T-magnit maydon induktsiyasi; $\alpha = 90^\circ$ - $\vec{B}$ va $\vec{v}$ vektorlar orasidagi burchak; jadvaldan: $m_p=1,67 \cdot 10^{-27}$ kg-protonning massasi; $q=1,6 \cdot 10^{-19}$ C-protonning zaryadi. Topish kerak: r -aylana radiusini; T -protonning aylanish davrini.

Yechilishi. Harakatlanuvchi elektr zaryadga, bizning holda protonga, magnit maydonda Lorents kuchi ta'sir qiladi: $F_l = Bvq \sin \alpha$, bunda $\alpha = 90^\circ$ va $\vec{v}$ vektorlar orasidagi burchak. $\sin \alpha = 1$ ni hisobga olsak: $F_l = Bvq$. Lorents kuchi $\vec{B}$ va $\vec{v}$ vektorlar turgan tekislikka har doim perpendikulyar bo'lgani uchun u ish bajarmaydi, ya'ni harakatlanuvchi zaryadlarning kinetik energiyasini o'zgartirmaydi; shu kuch ta'siri ostida faqat tezlik yo'nalishi o'zgaradi. Shuning uchun biz quyidagini yozishimiz mumkin:

$$Bvq = \frac{m_p v^2}{r}, \text{ bundan: } r = \frac{m_p v}{Bq}.$$

Protonning tezligini topish uchun energiyaning saqlanish qonunidan foydalanamiz:

elektr maydon kuchi U proton erishgan kinetik energiyaga teng: $qU = \frac{m_p v^2}{2}$, bundan:

$$v = \sqrt{\frac{2qU}{m_p}}; \quad v = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 10^3 \text{ V}}{1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}}} = 4,4 \cdot 10^5 \text{ m/s}.$$

Aylananing radiusini topamiz:

$$r = \frac{1,6 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot 4,4 \cdot 10^5 \text{ m/s}}{0,2 \text{ T} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}} \approx 0,023 \text{ m}.$$

Protonning tezligini va uning orbitasini bilgan holda davrini aniqlaymiz:

$$T = \frac{2\pi r}{v}; \quad T = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,023 \text{ m}}{4,4 \cdot 10^5 \text{ m/s}} \approx 0,033 \cdot 10^{-5} \text{ s} \approx 0,3 \text{ mks}.$$

javobi. Proton 0,023 m radiusli aylana bo'ylab harakatlanadi, uning aylanish davri taqriban 0,3 mks ga teng.

SAVOL VA MASALALAR

- 6.1. Elektr tokining har doim issiqlik ta'siri kuzatiladimi? Kimyoviy ta'sirichi? Magnit maydon vujudga keladimi?
- 6.2. Molekula yonidan zaryadlangan zarracha uchib o'tsa, molekula bilan bog'langan sistemada magnit maydoni hosil bo'ladimi? Zarrachaning ishorasi javobga ta'sir qiladimi?
- 6.3. Magnit strelka Yerning magnit qutblarida qanday joylashadi?
- 6.4. Agar trolleybus simlari orasidagi masofa 520 mm, ulardagi tok kuchi esa 200 A bo'lsa, o'zgarmas tok liniyasining 30 m li qismida simlar qanday kuch bilan o'zaro ta'sirlashadi?
- 6.5. O'zgarmas tokli elektr uzatish liniyasi 150 A tok kuchiga mo'ljallangan. Ikkita sim har 50 m masofada $2,8 \cdot 10^{-1}$ N kuch bilan o'zaro ta'sirlashishi uchun ular bir-biridan qanday masofada turishi kerak?
- 6.6. Birday tok kuchiga ega bo'lgan ikkita parallel sim orasidagi masofa 25 sm. Agar uning har bir metr uzunligi 2 mN kuch bilan o'zaro ta'sir qilsa har bir simdagi tok kuchini aniqlang.
- 6.7. Ikkita parallel sim bir-biridan 6 sm masofada turibdi. Ularning birida tok kuchi 15 A, ikkinchisida esa 10 A. Bu simlarning qanday uzunlikdagi qismiga 1,4 mN kuch ta'sir qiladi?
- 6.8. Uzunligi 2,8 m bo'lgan ikkita parallel sim bir-biridan 12 sm masofada turibdi va 3,4 mN kuch bilan tortishayapti. Simlarning biridagi tok kuchi 58 A. Ikkinchi simdagi tokni toping. Simlardagi toklarning yo'nalishlarini toping.
- 6.9. Magnit maydonida turgan yuzi 1 sm^2 bo'lgan ramkaga ta'sir qiluvchi maksimal aylantiruvchi moment $2 \text{ mN} \cdot \text{m}$ ga teng. Ramkadan o'tuvchi tok kuchi 0,5 A ga teng. Magnit maydoni induksiyasini toping.
- 6.10. Induksiya 0,1 T ga teng bo'lgan bir jinsli magnit maydoniga yuzi 400 sm^2 bo'lgan ramka shunday joylashtirilganki, ramkaga o'tkazilgan normal induksiya chiziqlariga perpendikulyar joylashgan. Tok kuchi qancha bo'lganda ramkaga $20 \text{ mN} \cdot \text{m}$ ga teng bo'lgan aylantiruvchi moment ta'sir qiladi?

- 6.11. Uzunligi 0,5 m va tok kuchi 5 A bo'lgan to'g'ri o'tkazgich 0,16 T induksiya bilan bir jinsli magnit maydonda turibdi. Simlar va induksiya vektorlari orasidagi burchaklar 90°, 30°, 0° ni tashkil qilgan hollar uchun, o'tkazgichga ta'sir qiluvchi kuchni aniqlang.
- 6.12. Uzunligi 0,7 m bo'lgan to'g'ri o'tkazgichda tok kuchi 10 A bo'lganda unga 42 mN kuch ta'sir qilgan bir jinsli magnit maydon induksiyasini aniqlang. Shu o'tkazgich bilan magnit maydon yo'nalishi orasidagi burchak 30° ni hosil qiladi.
- 6.13. Bir jinsli magnit maydonida induksiya chiziqlariga perpendikulyar joylashgan uzunligi 1 m bo'lgan to'g'ri o'tkazgichga 0,6 N kuch ta'sir qiladi. O'tkazgichdagi tok kuchi 12 A ga teng. Agar o'tkazgich va maydon induksiya vektori yo'nalishi orasidagi burchak 45° bo'lsa, bu maydon o'tkazgichga qanday kuch bilan ta'sir qiladi? Bu masalani ikki xil yo'l bilan yeching.
- 6.14. Uzunligi 20 sm va massasi 4 g bo'lgan gorizontal joylashgan o'tkazgichdan 10 A tok o'tmoqda. Og'irlik kuchi Amper kuchi bilan muvozanatlashishi uchun o'tkazgichni joylashtirish lozim bo'lgan magnit maydon induksiyasini (modulini va yo'nalishini) toping.
- 6.15. Aktiv qismining uzunligi 8 sm bo'lgan o'tkazgichdagi tok kuchi 50 A ga teng. U magnit induksiyasi 20 mT bo'lgan bir jinsli magnit maydonda turibdi. O'tkazgich magnit maydoniga perpendikulyar ravishda 10 sm siljiganda bajarilgan ishni toping.
- 6.16. Tokli uzun to'g'ri simdan 10 sm masofada magnit maydon kuchlanganligi 20 A/m. Agar simni 2,5 T induktiviyali bir jinsli magnit maydonga tok yo'nalishi va magnit induksiya vektori orasidagi burchakni 30° qilib joylashtirilsa, uning har bir metriga qanday kuch ta'sir qiladi?
- 6.17. 7,8 A tok kuchi o'tayotgan to'g'ri o'tkazgichning o'zidan 4,8 sm masofadagi nuqtada hosil qilgan magnit maydon induksiyasini va kuchlanganligini aniqlang.
- 6.18. 10 A tok kuchi o'tayotgan o'tkazgich biror nuqtada 40 A/m kuchlanganlikli magnit maydonni hosil qiladi. Shu nuqtadagi magnit maydon induksiyasini va undan o'tkazgichgacha bo'lgan masofani aniqlang.
- 6.19. Halqa shaklidagi tokli o'tkazgich halqa markazida kuchlanganligi 25 A/m bo'lgan magnit maydon hosil qiladi. Agar halqadagi tok kuchi 3,45 A bo'lsa, shu maydonning induksiyasini va halqaning radiusini aniqlang.

6.20. O'ramning radiusi 4 sm bo'lganda aylanma tok markazidagi magnit maydon induksiyasi $1,57 \cdot 10^{-4}$ T ga teng. O'ram markazidagi maydon kuchlanganligini va undagi tok kuchini aniqlang.

6.21. Uzun to'g'ri o'tkazgich bo'ylab 4,4 sm masofada $0,8 \cdot 10^{-4}$ T induksiya magnit maydon hosil qiluvchi tok o'tadi. Muhitning magnit singdiruvchanligi 1,1. O'tkazgichdagi tok kuchini va undan 16 sm masofadagi maydon kuchlanganligini aniqlang.

6.22. Agar o'ramdagi magnit maydon 10 A, uning radiusi esa 6 sm bo'lsa, aylanma tokning magnit momentini aniqlang.

6.23. Diametri 15 sm bo'lgan sim halqa $4,2 \cdot 10^{-2}$ A·m² magnit momentiga ega. Halqadagi tok kuchini va uning markazidagi magnit maydon kuchlanganligini aniqlang.

6.24. Induksiyasi $1,2 \cdot 10^{-2}$ T bo'lgan bir jinsli magnit maydon $6 \cdot 10^{-2}$ A tok kuchi o'tayotgan sim halqa turibdi. Halqaning tekisligi magnit induksiyasi chiziqlariga parallel. Halqaning radiusi 5 sm. Magnit maydon tomonidan halqaga ta'sir qiluvchi maksimal maydonni aniqlang.

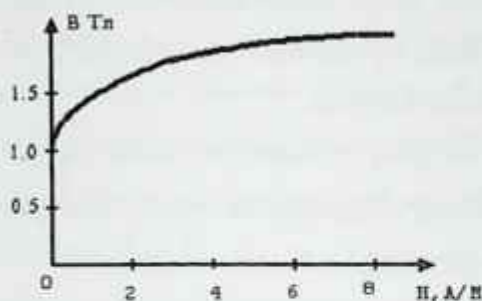
6.25. Uzunligi 100 sm bo'lgan o'zaksiz solenoiddagi o'ramlar soni 600 ga teng. Solenoidda tok kuchi 0,4 A bo'lganda, uning ichidagi magnit maydon induksiyasini aniqlang.

6.26. Diametri uzunligiga nisbatan juda kichik bo'lgan solenoiddagi tok kuchi 6,5 A. 65 sm uzunlikdagi solenoiddagi o'ramlar soni 750. Kuchlanganlikni va o'zaksiz solenoid ichidagi magnit maydonni aniqlang.

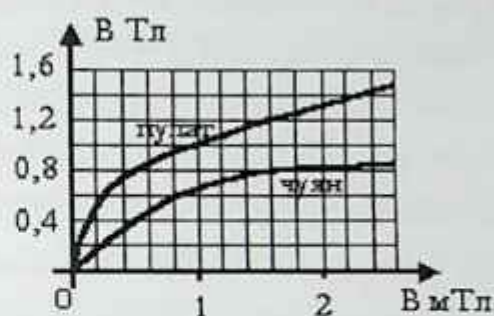
6.27. Yetarlicha uzun solenoid ichidagi magnit maydon induksiyasi $2,52 \cdot 10^{-3}$ T ga teng. Undagi tok kuchi 3,0 A. O'ramlar zich qilib bir qator o'ralgan. Solenoid o'zaksiz. Solenoid tayyorlangan simning diametrini aniqlang.

6.28. Magnit maydonining 1,5 va 5,0 kAm kuchlanganliklarida yumshoq po'lat uchun magnit singdiruvchanlikni aniqlang. (12.2-rasmdagi grafikka qarang). Boshlang'ich magnitlanish protsessida magnit maydonning ortishi bilan po'latning

magnit singdiruvchanligi qanday o'zgaradi? Nima uchun?



12.2-rasm



12.3-rasm

6.29. 12.3-rasmdan foydalanib, po'latning magnitlovchi maydonning B_0 induksiyasi 0,4 mT va 1,2 mT bo'lgan hollardagi magnit singdiruvchanligini toping.

6.30. Agar solenoidning cho'yan o'zagi xuddi shunday o'lchamli po'lat o'zak bilan almashtirilsa, magnit oqimi necha marta o'zgaradi? Magnitlovchi maydonning induksiyasi $B_0=2,2$ mT. 12.3-rasmdan foydalaning.

6.31. O'zaksiz solenoid ichidagi maydonning induksiyasi $B_0=2$ mT. Agar solenoid ichiga kesimi 100 sm² bo'lgan cho'yan o'zak kiritilsa, magnit oqim qanday bo'lib qoladi?

6.32. Agar nikel o'zakdagi bir jinsli magnit maydon kuchlanganligi $2,0 \cdot 10^3$ Am, o'zak ko'ndalang kesimining yuzi 30 sm² va uning magnit singdiruvchanligi 200 bo'lsa, o'zakdagi magnit induksiyasini va uning magnit oqimini aniqlang.

6.33. O'zaksiz solenoidda cho'lg'ami $1,0 \cdot 10^{-3}$ m diametrli simdan o'ralgan. Radiusi 1,0 sm bo'lgan o'ramlar ketma-ket zich qilib joylashtirilgan. Solenoiddagi tok kuchi 2,0 A bo'lganda, uning ichidagi magnit oqimini aniqlang.

6.34. Ko'ndalang kesim yuzi 60 sm² bo'lgan kontur ichidagi magnit oqim 0,3 mVb ga teng. Kontur ichidagi maydon induksiyasini toping. Maydonni bir jinsli deb hisoblang.

6.35. Elektromagnit o'zagining magnit induksiyasi 1,2 T, uning ko'ndalang kesimining yuzi esa 0,12 m² teng. Elektromagnitning o'zagidagi magnit oqimini aniqlang.

- 6.36. Ko'ndalang kesimining yuzi $4,5 \text{ sm}^2$ va magnit singdiruvchanligi 160 bo'lgan po'lat sterjen kuchlanganligi 7970 Am bo'lgan bir jismli magnit maydonga shunday kiritilganki, unda kuchlanganlik chiziqlari sterjenning ko'ndalang kesimi normal bilan mos keladi. Sterjenni kesib o'tuvchi magnit oqimini aniqlang.
- 6.37. Solenoidning temir o'zagi ($\mu=8000$) da hosil qilingan bir jinsli magnit maydonning kuchlanganligi $1 \cdot 10^3 \text{ Am}$ va o'zakning ko'ndalang kesimi orqali o'tgan magnit induksiya oqimi $3,2 \cdot 10^{-2} \text{ Wb}$. O'zakning ko'ndalang kesimini toping.
- 6.38. Induksiyasi $1,2 \cdot 10^{-3} \text{ T}$ bo'lgan bir jinsli magnit maydonga tomonlari 4 sm dan bo'lgan kvadrat ramka joylashtirilgan. Ramka yuzasiga o'tkazilgan normal bilan magnit induksiya vektori orasidagi burchak 45° ni tashkil qiladi. Ramkaning kesim yuzi orqali o'tayotgan magnit induksiya oqimini toping.
- 6.39. Temir o'zakli solenoid ichidagi magnit maydon kuchlanganligi 1600 Am. O'zakning ko'ndalang kesimi yuzi 10 sm^2 . Agar o'zakdagi magnit oqimi $2 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$ ga teng bo'lsa, magnit maydon induksiyasini va temirning magnit singdiruvchanligini aniqlang.
- 6.40. Elektron bir jismli magnit maydonda $1,0 \cdot 10^4 \text{ km/s}$ tezlik bilan magnit maydon vektoriga perpendikulyar yo'nalishda harakatlanadi. 150 Am maydon kuchlanganligida elektronga ta'sir qiluvchi kuchni aniqlang.
- 6.41. Elektron $9,1 \cdot 10^{-5} \text{ T}$ induksiyali bir jinsli magnit maydonga uchib kiradi. Elektronning tezligi $1,9 \cdot 10^7 \text{ m/s}$ va magnit induksiya vektoriga perpendikulyar yo'nalgan. Elektron harakatlanayotgan aylananing radiusini, aylanish davrini va chatotani aniqlang.
- 6.42. Induksiyasi 0,2 T bo'lgan magnit maydonida induksiya chiziqlariga perpendikulyar ravishda 10 Mms tezlik bilan harakatlanayotgan protonga qanday kuch ta'sir qiladi?
- 6.43. Agar magnit maydonga maydonning induksiya chiziqlariga perpendikulyar yo'nalishda 10 Mms tezlik bilan uchib kirgan elektron maydon radiusi 1 sm bo'lgan aylana chizsa, shu maydonning induksiyasini toping.

- 6.44 Induksiyasi 0,01 T bo'lgan magnit maydonda proton 10 sm radiusli aylana chizdi. Protonning tezligini toping.
- 6.45. Induksiyasi 10 mT bo'lgan bir jinsli magnit maydonga induksiya chiziqlariga perpendikulyar ravishda elektron 30 keV kinetik energiya bilan uchib kiradi. Maydonda elektronning harakat trayektoriyasining egriklik radiusi qanday?
- 6.46. Proton va α -zarra bir jinsli magnit maydonda kuch chiziqlariga perpendikulyar ravishda uchib kiradi. Bu zarralarning a) tezliklari; b) energiyalari bir xil bo'lgan hollarda ular chizadigan aylanalarning radiuslarini taqqoslang.
- 6.47. Elektron induksiyasi 4 mT bo'lgan bir jinsli magnit maydonda harakatlanmoqda. Elektronning aylanish davrini toping.
- 6.48. Bir jinsli elektr maydon va bir jinsli magnit maydon o'zaro perpendikulyar joylashgan. Elektr maydon kuchlanganligi 1 kVm, magnit maydon induksiyasi 1 mT. Elektronning harakati to'g'ri chiziqli bo'lishi uchun uning tezligini toping.
- 6.49. Elektron induksiyasi $2,5 \cdot 10^{-3}$ T bo'lgan bir jinsli magnit maydonga uchib kiradi va unda radiusi 40 sm bo'lgan aylana bo'ylab harakatlanadi. Uning tezligi vektori magnit maydon yo'nalishi bilan 900 burchak hosil qiladi. Elektronning kinetik energiyasini aniqlang.

8-§. Induksiya vektorining sirkulyatsiyasi va oqimi

Reja:

1. Solenoid va toroidning magnit maydoni induksiyasi.
2. Elektromagnit induksiya hodisasi.
3. Transformatorlar

Mavzular mazmuni: Vakuumdagi magnit maydon induksiya vektorining sirkulyatsiyasi va oqimi. Vakuumdagi magnit maydon induksiya vektorining sirkulyatsiyasi xaqidagi teorema. Solenoid va toroidning magnit maydoni induksiyasi. Magnit maydon oqimi. Vakuumdagi magnit maydon uchun Gauss teoremasi. Bir jinsli magnit maydonidagi tokli ramka. Tokli o'tkazgich va konturni magnit maydonida ko'chirishdagi bajarilgan ish.

Tayanch iboralar. Vakuu, Magnit, induksiyasi ,vektori ,sirkulyatsiya, teoremasi.

I tokli, to'g'ri chiziqli uzun o'tkazgichga perpendikulyar joylashgan yopiq yassi konturni tasavvur etamiz

Konturda tokli o'tkazgichdan r masofada joylashgan $d\vec{\ell}$ elementar kesmani olamiz. Tokning magnit maydon kuchlanganligi $d\vec{\ell}$ kesma nuqtalarida radius-vektorga perpendikulyar joylashgan bo'lib, $d\vec{\ell}$ kesma bilan β burchak tashkil

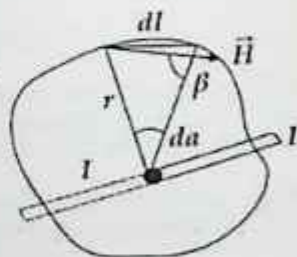
$$\text{etadi.} \quad H = \frac{I}{2\pi r}, \quad H_{\ell} = H \cos \beta \quad 7.1$$

$\vec{H}_{\ell}$ - magnit maydon kuchlanganligi $\vec{H}$ ning $d\vec{\ell}$ yo'nalishga proektsiyasidir, $d\ell_{\parallel} = d\ell \cdot \cos \beta = d\ell$ kesmaning $\vec{H}$ - yo'nalishga proektsiyasidir. Ikkinchi tarafdin $d\ell_{\parallel}$ yoyning uzunligi r $d\alpha$ ga teng. Bu holda,

$$H_{\ell} d\ell = H \cdot \cos \beta \cdot d\ell = H d\ell_{\parallel} = H r \cdot d\alpha \quad 7.2$$

$$H \cdot r d\alpha = \frac{I}{2\pi r} \cdot r \cdot d\alpha = \frac{I d\alpha}{2\pi} \quad 7.3$$

7.1 - rasm. Magnit induksiyasi vektori sirkulyatsiyasi



(1) ifodani yopiq kontur uzunligi bo'yicha integrallaymiz:

$$\oint H_{\ell} d\ell = \oint \frac{I \cdot d\alpha}{2\pi} = \frac{I}{2\pi} \times 2\pi = I \quad 7.4$$

Agar, yopiq kontur ichidan bir nechta o'tkazgichlar o'tsa, u holda I - barcha o'tkazgichlardan o'tayotgan toklar yig'indisiga tengdir.

$$\oint H_{\ell} d\ell = \sum I_i = I \quad 7.5$$

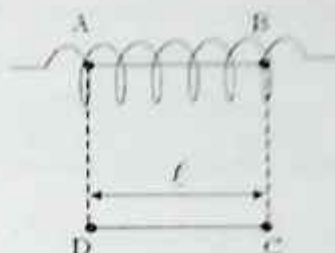
Bu ifoda magnit maydon kuchlanganligi vektorining yopiq kontur bo'yicha ttsirkulyatsiyasi deb ataladi.

Magnit maydon induksiyasi vektorining ttsirkulyatsiyasi quyidagicha ifodalanadi:

$$B = \mu_0 H, \quad \oint B_i dl = \mu_0 I, \quad 7.6$$

Elektrostatik maydon kuchlanganligi vektorining yopiq kontur bo'yicha ttsirkulyatsiyasi

nolga teng va u potentsial xarakterga ega edi. 7.1 - rasm. Magnit induksiyasi vektori sirkulyatsiyasi



ifodalardan ko'rinadiki, tokning magnit maydoni uchun kuchlanganlik va induksiya ttsirkulyatsiyasi nolga teng emas, shuning uchun magnit maydon uyurmali yoki solenoid ko'rinishli xarakterga egadir. Bu maydonda ma'lum bir nuqtadagi potentsial har xil qiymatlarga ega bo'ladi.

Bir tekis o'ralgan o'ramali va to'g'ri chiziqli uzun solenoidning ichida magnit maydon kuch chiziqlari solenoid o'qiga parallel yo'nalgan deb hisoblaymiz (rasm).

Shunday solenoid uchun magnit maydon kuchlanganligi $\vec{H}$ miqdorini topishga urinib ko'ramiz. ABCD - to'g'ri burchakli yopiq konturni olamiz. Konturning AB qismi solenoid ichida bo'lib, maydon kuch chiziqlariga paralleldir.

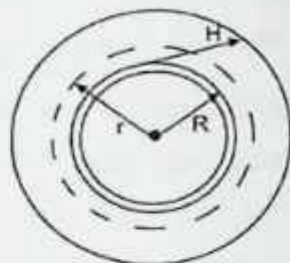
Magnit maydon kuchlanganligi ($\vec{H}$) yopiq kontur bo'yicha ttsirkulyatsiyasini konturning alohida bo'laklariga tegishli to'rtta integral ko'rinishda olamiz:

$$\oint H_i dl = \int_{AB} H_i dl + \int_{BC} H_i dl + \int_{CD} H_i dl + \int_{DA} H_i dl = n l I \quad 7.7$$

Bu erda ℓ - AB va CD bo'laklar uzunligi, n - o'ramlar zichligi, $n \ell$ - o'ramlar soniga tengdir.

Solenoid tashqarisidagi katta masofada maydon kuchlanganligi juda kichikdir, shuning uchun CD bo'lakda u nolga teng. BC va DA bo'laklar kuch chiziqlariga perpendikulyar bo'lgani uchun $\vec{H}$ ham nolga tengdir. BC va DA bo'laklarga $H\ell$ ning proyeksiyasi ham nolga tengdir. Shu sababli to'rtta

integraldan faqat bittasi $\oint_{AB} H_i dl$ nolga teng emas. AB bo'lakning nuqtalarida H_i



7.3-Rasm. Magnit maydon

kuchlanganligi

o'zgarmas bo'ladi $H_i = H = const$ natijada

$$\oint H_i dl = H \oint dl + H\ell + nI\ell \quad 7.8$$

H ta o'ramli solenoidni bukib, halqa shakliga keltirsak – toroid hosil bo'ladi (3 - rasm). r – toroidning o'rta chizig'ining radiusi, n – toroidning birlik uzunligidagi o'ramlar soni. Toroid magnit maydoni kuch chiziqlari aylana ko'rinishida bo'ladi. $\vec{H}$ vektor istalgan nuqtada maydon kuch chiziqlariga urinma bo'ylab yo'nalgan, shu sababli $H_i = H = const$ 7.9

R radiusli konturni olamiz. Toroiddagi simlar o'ramining soni $n=2\pi R$ ga teng va barcha kuch chiziqlari konturni sizib o'tadi.

$\vec{H}$ vektor istalgan nuqtada maydon kuch chiziqlariga urinma bo'ylab yo'nalgan, shu sababli $H_i = H = const$.

R radiusli konturni olamiz. Toroiddagi simlar o'ramining soni $n=2\pi R$ ga teng va barcha kuch chiziqlari konturni sizib o'tadi.

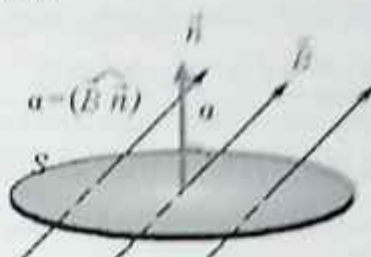
Sirkulyatsiya ifodasiga asosan:

$$\oint H_r dl = H \oint dl = H 2\pi R = n 2\pi r l, \quad 7.10$$

bu erdan
$$H = \frac{r}{R} n \cdot I,$$

7.11

Agar toroid juda tor bo'lsa, $\frac{r}{R} = 1$ ga tengdir. U holda $H = nI$ ga teng bo'ladi.



7.4-Rasm Magnit oqimi.

Magnit oqimi. Induksiya vektori $\vec{B}$ bo'lgan, bir jinsli magnit maydonda turgan ΔS yuzali yassi sirt orqali magnit maydon induksiya vektorining oqimi (magnit oqimi) deb B_n ning (magnit induksiya vektorining sirt normaliga proeksiyasining) sirt yuzasiga ko'paytmasiga teng bo'lgan fizik kattalikka aytiladi:

$$\Delta\Phi = B_n \cdot \Delta S = B \cdot \Delta S \cdot \cos\alpha \quad 7.12$$

bu yerda α – sirt normali n ning yo'nalishi va induksiya vektori B orasidagi burchak.

$B_n = B \cdot \cos\alpha$ skalyar kattalik bo'lganidan magnit oqim ham skalyar kattalikdir.

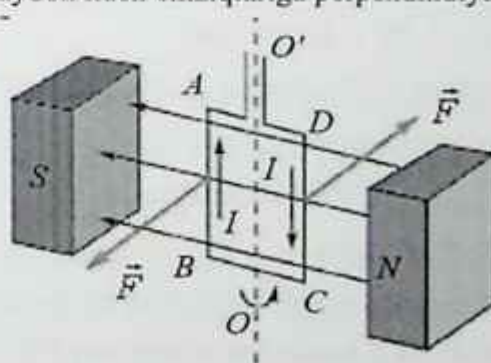
Magnit oqimi shu sirt orqali o'tgan magnit induksiya chiziqlarining sonini ham xarakterlaydi. $\cos\alpha$ ning qanday qiymatni qabul qilishiga qarab magnit oqimi musbat yoki manfiy bo'lishi mumkin. XBSda magnit oqimining birligi qilib Vb – Veber nemis fizigi V. Veber (1804-1891) sharafiga nomlangan.

1 Vb – 1 Tl induksiya, bir jinsli magnit maydon kuch chiziqlariga perpendikulyar joylashtirilgan 1 m² yuzali sirtidan

o'tadigan oqimdir. BIR JINSLI
MAGNIT MAYDONNING TOKLI
RAMKANI AYLANTIRUVCHI
MOMENTI

Magnit maydonning faqat doimiy
magnitlar emas, balki tokli

o'tkazgichlar atrofida ham hosil 7.4-Rasm maydonning tokli
ramkanaylantiruvch momenti



bo'lishini Ersted o'z tajribalarida ko'rsatib bergan edi.

Endi biz tokli o'tkazgichning magnit maydoni bilan doimiy magnit maydonning o'zaro ta'sirini ko'rib chiqamiz.

Agar magnit maydonga tokli konturyoki magnit strelkasi kiritilsa, uning urilishi (biror burchakka og'ishi) o'rishimiz mumkin. Konturdagi tokning yo'nalishi teskariga o'zgarganda konturning teskari yo'nalishda burilganligini ko'ramiz. Magnit maydonda joylashgan tokli ramkaning burilish sababini aniqlaylik.

Magnit maydonga tik joylashgan ramkaning uzunligi l bo'lgan AB va CD tomonlaridan I tok oqayotgan bo'lsin. U holda ramkaning shu l qismiga magnit maydon tomonidan ta'sir qilayotgan Amper kuchining qiymati quyidagiga teng bo'ladi: $F_A = I \cdot B \cdot l$, bunda: $l = AB = CD$.

Bu kuchning yo'nalishi chap qo'l qoidasi yordamida aniqlanadi. Ayni paytda AB va CD qismlarga ta'sir qiluvchi kuchlarning modullari teng bo'lib, qarama-qarshi tomonga yo'nalgan bo'ladi. Shu bois, tokli ramkaga magnit maydon tomonidan juft kuch ta'sir qiladi. Bu juft kuch ta'sirida tokli ramka buriladi. Bu juft kuchlar OO' aylanish o'qiga nisbatan aylantiruvchi momentini hosil qiladi. rasmdan ko'rinadiki, ramkaning $AB = CD = d/2$ qismlaridagi kuchning yelkasi $d \cdot \sin \alpha / 2$ ga teng. Kuchlarning momentlari:

$$M_1 = M_2 = F_A \cdot \frac{d}{2} \quad 7.13$$

U holda, to'la aylantiruvchi moment:

$$M = M_1 + M_2 = F_A \cdot d \cdot \sin \alpha \quad 7.14$$

Amper kuchining formulasini ifodaga qo'yib, aylantiruvchi momenti ifodasini yozamiz: $M = I \cdot B \cdot l \cdot d \cdot \sin \alpha$ 1

$d = S$ ekanligini inobatga olsak, ifoda quyidagi ko'rinishga keladi:

$$M = I \cdot B \cdot S \cdot \sin \alpha \quad 7.16$$

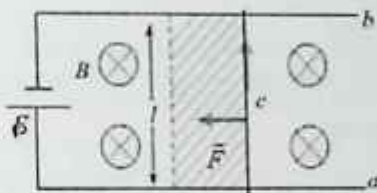
Demak, magnit maydonga kiritilgan tokli konturga ta'sir qiluvchi kuchning momenti (M), konturdan o'tayotgan tok kuchi (I) ga, kontur yuzasi (S) ga hamda magnit induksiya yo'nalishi bilan kontur tekisligiga o'tkazilgan

normal orasidagi burchak sinusiga hamda magnit maydon induksiyasi ($\vec{B}$) ga to'g'ri proporsional. Agar, $\alpha = \frac{\pi}{2}$ bo'lsa, $M = M_{\max} = BIS$ bo'ladi.

Bu tenglikka ko'ra magnit maydon induksiyasini: $B = \frac{M_{\max}}{IS}$ orqali ifodalash mumkin.

TOKLI O'TKAZGICHNI MAGNIT MAYDONDA KO'CHIRISHDA BAJARILGAN ISH

Ikki parallel a va b silliq metall simlar bir-biridan l uzoqlikda joylashtirilgan bo'lib, ularning ustiga yengil c metall o'tkazgich qo'yilgan holni qaraylik. O'tkazgichlar tizimi magnit induksiyasi bo'lgan bir jinsli maydonga joylashgan. Rasmdagi belgisi magnit maydon induksiya vektori bizdan rasm tekisligi tomon



tik yo'nalganligini anglatadi. a va b o'tkazgichlar

7.5-Rasm. Amper kuchi
tok manbayiga ulanganda c o'tkazgich orqali tok o'ta boshlaydi. Bunda l uzunlikdagi tokli o'tkazgichga magnit maydoni tomonidan $F = I \cdot B \cdot l$ Amper kuchi ta'sir qiladi. Tok yo'nalishi bilan magnit maydon induksiyasi yo'nalishi orasidagi burchak 90° ekanligini bilgan holda kuchning yo'nalishi chap qo'l qoidasiga binoan aniqlanadi.

Bu kuch c o'tkazgichni d masofaga siljitib, $A = I \cdot B \cdot l \cdot d$ 7.17

ish bajaradi. Bu ifodadagi l·d ko'paytma o'tkazgichning harakati davomida chizgan yuzadan iborat, ya'ni $S = l \cdot d$. Harakat davomida o'tkazgichni kesib o'tgan magnit oqimi $\Delta\Phi = B \cdot \Delta S$ ga tengligidan:

$$A = I \cdot \Delta\Phi \quad 7.18$$

ko'rinishdagi ifodaga ega bo'lamiz. Shuni ta'kidlash joizki, bu ish magnit maydon tomonidan emas, balki zanjirni tok bilan ta'minlab turuvchi manba hisobidan bajariladi.

Demak, tokli o'tkazgichni magnit maydonda ko'chirishda Amper kuchining bajargan ishi o'tkazgichdan o'tayotgan tok kuchi va magnit oqimi o'zgarishining ko'paytmasiga teng ekan.

Magnit maydonda tokli o'tkazgichni ko'chirishda bajariladigan ishdan amaliyotda keng foydalaniladi. U transport, maishiy texnika va elektronika sohalarida qo'llanilishi

bilan muhim ahamiyatga ega. Bugungi kunda juda keng ishlatilayotgan elektron qulflar bunga misol bo'la oladi.

Sinov savollari

1. Magnit maydon induktsiyasi oqimi va uning birligi.
2. Magnit maydon induktsiya vektorining tsirkulyatsiyasi haqidagi teorema ta'rif bering Magnit maydon uchun Gauss teoremasini ta'riflang
3. Tokli o'tkazgichni magnit maydonda ko'chirishda bajarilgan ish ifodasini keltirib chiqaring
4. Tokli konturni magnit maydonda ko'chirishda bajarilgan ish ifodasini keltirib chiqaring

Qo'shimcha masalalar

1 Radiusi 4 sm bo'lgan halqa induktsiyasi 0,5 T bo'lgan bir jinsli magnit maydon induktsiya chiziqlariga tik joylashtirilgan. Halqadan o'tayotgan magnit oqimi qanday? (Javobi: 25,12 mWb)

№1	Berilgan	Formula	Hisoblash
	R=4 sm= 4·10 ⁻² m B=0,5T Φ=?	Φ = B · S' Bunda S = π · R ² Demak Φ = B · π · R ²	Φ = 0,5 · 3,14 · (4 · 10 ⁻²) ² = 25,12 · 10 ⁻³ Wb = = 25,12 mWb

№2 Magnit induktsiyasi 4 T bo'lgan bir jinsli magnit maydonda joylashgan yuzasi 250 sm² bo'lgan simli ramkadan o'tayotgan magnit oqimi 87 mWb ga teng. Magnit maydon induktsiya chiziqlari sirtga qanday burchak ostida tushmoqda? (Javobi: 30°)

№2	Berilgan	Formula	Hisoblash
----	----------	---------	-----------

$B = 4T$ $S = 250 \text{ cm}^2 = 250 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ $\Phi = 87 \text{ mWb} = 87 \cdot 10^{-3} \text{ Wb}$ $\alpha = ?$	$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha$ bundan $\cos \alpha = \frac{\Phi}{B \cdot S}$; Demak $\arccos \frac{\Phi}{B \cdot S} = \alpha$	$\arccos \frac{87 \cdot 10^{-3} \text{ Wb}}{4T \cdot 250 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} = \alpha$ $\arccos 0,87 = 30^\circ$ $\alpha = 30^\circ$
---	---	---

№3 Induksiyasi 50 mT bo'lgan magnit maydonning induksiya chiziqlari sirt tekisligig 30° burchak ostida tushmoqda. Magnit maydon induksiyasining sirtga normal yo'nalishidagi tashkil etuvchisini toping (Javobi: 25 mT)

№	Berilgan	Formula	Hisoblash
3	$B_0 = 50 \text{ mT} = 50 \cdot 10^{-3} T$ $\alpha = 30^\circ$ $B = ?$	$B = B_0 \cdot \sin \alpha$ $\sin 30^\circ = 0,5$	$B = B_0 \cdot \sin \alpha = 50 \cdot 10^{-3} \cdot 0,5 = 25 \cdot 10^{-3} T = 25 \text{ mT}$

№4 To'g'ri o'tkazgichdan 5 A tok o'tmoqda. Undan 2 sm uzoqlikdagi nuqtadagi maydon induksiyasini toping. (Javobi: 50 μT)

№	Berilgan	Formula	Hisoblash
4	$I = 5 A$ $R = 2 \text{ sm} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ $B = ?$	$B = \frac{\mu_0 I d}{2 R \pi}$ $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$	$B = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 5}{2 \cdot \pi \cdot 2 \cdot 10^{-2}} = 5 \cdot 10^{-5} T = 50 \mu T$

№5 Radiusi 5 sm bo'lgan sim halqadan 3 A tok oqmoqda. Halqa markazidagi magnit maydon induksiyasini aniqlang. (Javobi: 37,7 μT)

№	Berilgan	Formula	Hisoblash
5	$I = 3A$ $R = 5sm = 5 \cdot 10^{-2} m$ $B = ?$	$B = \frac{\mu_0 I d}{2R}$ $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} N / A^2$	$B = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1 \cdot 3}{2 \cdot 5 \cdot 10^{-2}} = 37,7 \cdot 10^{-6} T = 37,7 \mu T$

№6 Radiusi 10 sm, o'ramlar soni 500 ta bo'lgan o'altakdan qanday tok o'tganda uning markazida 25 mT magnit maydon induksiyasi hosil bo'ladi? (Javobi: 8 A)

№6	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$N = 500$ $R = 10sm = 10 \cdot 10^{-2} m$ $B = 25mT = 25 \cdot 10^{-3} T$ $I = ?$	$B = \frac{\mu_0 \mu d}{l} \cdot N$ $l = 2\pi R$ Bundan $I = \frac{2\pi R B}{\mu \cdot \mu_0 N}$ $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} N / A^2$	$I = \frac{2\pi \cdot 10 \cdot 10^{-2} \cdot 25 \cdot 10^{-3}}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 500} = 8A$

№7 Magnit maydon induksiyasi 3 mT va 4 mT bo'lgan o'zaro tik yo'nalgan ikkita bir jinsli maydonlar qo'shilganda, natijaviy maydonning induksiyasi qanday bo'ladi? (Javobi: 5 mT)

№	Berilgan	Formula	Hisoblash
7	$B_1 = 3mT = 3 \cdot 10^{-3} T$ $B_2 = 4mT = 4 \cdot 10^{-3} T$ $B = ?$	$B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2}$	$B = \sqrt{(3 \cdot 10^{-3} T)^2 + (4 \cdot 10^{-3} T)^2} = 5 \cdot 10^{-3} T = 5 mT$

№8 Radiusi 10 sm bo'lgan tokli halqa induksiyasi 20 mT bo'lgan bir jinsli magnit maydonga joylashgan. Agar halqadan 2A tok o'tayotgan bo'lsa, magnit maydon tomonidan unga qanday maksimal kuch momenti ta'sir qiladi? (Javobi: 1,26 mn · m)

№8	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$B = 20 \text{ mT} = 20 \cdot 10^{-3} \text{ T}$ $R = 10 \text{ sm} = 10 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ $I = 2 \text{ A}$ ----- $M = ?$	$M = I \cdot B \cdot S$ Bunda $S = \pi \cdot R^2$ Demak $M = I \cdot B \cdot \pi \cdot R^2$	$M = 2 \cdot 20 \cdot 10^{-3} \cdot \pi \cdot (10 \cdot 10^{-2})^2 =$ $= 1,26 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m} = 1,26 \text{ mN} \cdot \text{m}$

№9 Eni 4 sm, bo'yi 8 sm bo'lgan ramka induksiyasi 2T bo'lgan magnit maydonda joylashgan. Undan 0,5A tok o'tganda ramkaga ta'sir qilayotgan maksimal kuch momentini toping. (Javobi: 3,2 mn · m)

№9	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$B = 2 \text{ T}$ $a = 4 \text{ sm} = 4 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ $b = 8 \text{ sm} = 8 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ $I = 0,5 \text{ A}$ ----- $M = ?$	$M = I \cdot B \cdot S$ Bunda $S = a \cdot b$ Demak $M = I \cdot B \cdot a \cdot b$	$M = 0,5 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 10^{-2} \cdot 8 \cdot 10^{-2} =$ $= 32 \cdot 10^{-4} \text{ N} \cdot \text{m} = 3,2 \text{ mN} \cdot \text{m}$

№10 Magnit maydonda turgan yuzi 80 sm² bo'lgan ramkaga ta'sir qiluvchi maksimal kuch momenti 7,2 mN·m ga teng. Agar ramkadan 0,2A tok o'tayotgan bo'lsa, maydon induksiyasi nimaga teng? (Javobi: 1,2 T)

№10	Berilgan	Formula	Hisoblash
-----	----------	---------	-----------

$M = 7,2 \text{ mN} \cdot \text{m} = 7,2 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}$ $S = 80 \text{ cm}^2 = 80 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ $I = 0,2 \text{ A}$ $B = ?$	$M = I \cdot B \cdot S$ Bundan $B = \frac{M}{I \cdot S}$	$B = \frac{7,2 \cdot 10^{-3}}{0,2 \cdot 80 \cdot 10^{-4}} = 4,5 \text{ T}$
--	--	--

№11 induksiyasi 200 mT bo'lgan magnit maydonda uzunligi 50 sm bo'lgan o'tkazgich joylashtirilgan. Undan 4 A tok o'tganda o'tkazgich 3 sm ga surildi. Bunda tok kuchi qanday ish bajargan? (Javobi: 12 mJ)

№1	Berilgan	Formula	Hisoblash
1	$B = 200 \text{ mT} = 200 \cdot 10^{-3} \text{ T}$ $l = 50 \text{ cm} = 0,5 \text{ m}$ $s = 3 \text{ cm} = 3 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ $I = 4 \text{ A}$ $A = ?$	$A = F_A \cdot s$ Bunda $F_A = I \cdot B \cdot l \sin \alpha$ Demak $A = I \cdot B \cdot l \cdot s$	$A = 4 \cdot 200 \cdot 10^{-3} \cdot 0,5 \cdot 3 \cdot 10^{-2} = 12 \cdot 10^{-3} \text{ J} = 12 \text{ mJ}$

№12 induksiyasi 0,1 T bo'lgan bir jinsli magnit maydonda induksiya chiziqlariga tik holatda uzunligi 10 sm bo'lgan o'tkazgichdan 2 A tok o'tmoqda. O'tkazgichga magnit maydoni tomonidan ta'sir qilayotgan kuchni hisoblang. (Javobi: 20 mN)

№12	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$B = 0,1 \text{ T}$ $l = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}$ $I = 2 \text{ A}$ $\alpha = 90^\circ$ $F_A = ?$	$F_A = I \cdot B \cdot l \sin \alpha$	$F_A = 2 \cdot 0,1 \cdot 0,1 = 2 \cdot 10^{-2} \text{ N} = 20 \text{ mN}$

№13 Uzunligi 25 sm bo'lgan o'tkazgichdan 4 A tok o'tmoqda. O'tkazgich induksiyasi 1,2 T bo'lgan bir jinsli magnit maydonning induksiya chiziqlariga 45° burchak ostida

joylashgan. O'tkazgich amper kuchi yo'nalishida 3 sm ga ko'chganda . . qanday . ish. . bajariladi? . (Javobi: 25,4 mJ)

№1	Berilgan	Formula	Hisoblash
3	$B = 1,2T$ $l = 25sm = 0,25m$ $I = 4A$ $\alpha = 45^\circ$ $s = 3sm = 0,03m$ $A = ?$	$A = F_A \cdot s$ Bunda $F_A = I \cdot B \cdot l \sin \alpha$ Demak $A = I \cdot B \cdot l \cdot \sin \alpha \cdot s$	$A = 4 \cdot 1,2 \cdot 0,25 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot 0,03 = 25,4 \cdot 10^{-3} J$ $= 25,4mJ$

№14 Uzunligi 40 sm bo'lgan o'tkazgichdan 2,5 atok o'tmoqda. O'tkazgich bir jinsli magnit maydonning induksiya chiziqlariga perpendikular yo'nalishda 8 sm siljiganda, 32 mJ ish bajarilgan. Magnit maydon induksiyasi nimaga . teng? . (Javobi: 0,4 T)

№14	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$l = 40sm = 0,4m$ $I = 2,5A$ $\alpha = 90^\circ$ $s = 8sm = 0,08m$ $A = 23mJ = 32 \cdot 10^{-3} J$ $B = ?$	$A = F_A \cdot s$ Bunda $F_A = I \cdot B \cdot l \sin \alpha$ $A = I \cdot B \cdot l \cdot \sin \alpha \cdot s$ Demak $B = \frac{A}{I \cdot l \cdot \sin \alpha \cdot s}$	$B = \frac{23 \cdot 10^{-3}}{2,5 \cdot 0,4 \cdot 1 \cdot 0,08} = 0,4T$

№ 15 Uzunligi 40 sm bo'lgan o'tkazgich induksiyasi 2,5 T bo'lgan bir jinsli magnit maydonida 12 sm/s tezlik bilan harakatlanmoqda. agar o'tkazgich 3 s ichida

induksiya chiziqlariga perpendikular yo'nalishda 8 sm siljiganda, 144. mJ. ish bajarilgan bo'lsa, o'tkazgichdagi tok kuchi nimaga teng? Magnit maydon induksiyasi chiziqlari va tok yo'nalishi orasidagi burchakni 90° deb oling. (Javobi: 0,4 a)

№15	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$l = 40 \text{ sm} = 0,4 \text{ m}$ $B = 2,5 \text{ T}$ $\alpha = 90^\circ$ $g = 12 \text{ sm/s} = 0,12 \text{ m/s}$ $t = 3 \text{ s}$ $s = 8 \text{ sm} = 0,08 \text{ m}$ $A = 144 \text{ mJ} = 144 \cdot 10^{-3} \text{ J}$ $I = ?$	$A = F_A \cdot s$ Bunda $F_A = I \cdot B \cdot l \sin \alpha$ $A = I \cdot B \cdot l \cdot \sin \alpha \cdot s$ Demak $I = \frac{A}{B \cdot l \cdot \sin \alpha \cdot s}$	$I = \frac{144 \cdot 10^{-3}}{2,5 \cdot 0,4 \cdot 1 \cdot 0,08} = 0,4 \text{ A}$

№16 ikki simli o'zgarmas elektr toki uzatish liniyasi simlarining har bir metr uzunligiga to'o'ri keluvchi o'zaro ta'sir kuchini hisoblang. simlar orasidagi masofa 2 m, tok kuchi 50 aga teng deb oling. (Javobi: 0,25 mn)

№16	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$r = 2 \text{ m}$ $I_1 = I_2 = 50 \text{ A}$ $F = ?$	$F = \frac{\mu_0 \mu I_1 I_2 \cdot l}{2\pi r}$ Bunda $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N/A}$	$F = \frac{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 1 \cdot 50 \cdot 50}{2 \cdot \pi \cdot 2} = 0,25 \cdot 10^{-3} \text{ N}$ $= 0,25 \text{ mA}$

№ 17 ikkita parallel tokli o'tkazgichlarning har biridan bir tomonga yo'nalgan 2A tok o'tmoqda. Tokli o'tkazgichlar orasidagi masofa 4 sm. Tokli o'tkazgichlar .

o'rtasidagi . nuqtada . magnit . maydon . induksiyasi . nimaga . teng? . (Javobi: nolga teng)

№17	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$r = 4\text{sm} = 0,04\text{m}$ $I_1 = I_2 = 2\text{A}$ $B = ?$	$B = \frac{\mu_0 I l}{2R\pi}$ Bunda Magnit induksiya vektorlari qarama-qarshi yo'nalishga ega bo'lsa $B = B_1 - B_2$	$B_1 = B_2$ bo'lgani uchun $B = 0$ bo'ladi

№18 $4 \cdot 10^7 \text{m/s}$ tezlik bilan harakatlanayotgan proton induksiyasi 5T bo'lgan bir jinsli magnit maydonga uchib kirganda unga qanday kuch ta'sir qiladi? . Zarraning . tezlik . yo'nalishi . va . maydon . induksiya . kuch . chiziqlari . orasidagi burchakni 45° ga teng deb oling. (Javobi: $22,4 \text{ pn}$)

№18	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$\mathcal{Q} = 4 \cdot 10^7 \text{ m/s}$ $B = 5\text{T}$ $q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$ $\alpha = 45^\circ$ $F_L = ?$	$F_L = q \cdot \mathcal{Q} \cdot B \cdot \sin \alpha$	$F_L = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 4 \cdot 10^7 \cdot 5 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = 22,4 \cdot 10^{-1}$ $= 22,4 \text{ pN}$

№19 Magnit . induksiyasi . $0,3 \cdot \text{T}$. bo'lgan . bir . jinsli . magnit . maydonga . induksiya . chiziqlariga . perpendikular . ravishda . $160 \cdot \text{Mm/s}$. tezlik . bilan . uchib . kirgan . elektronning . harakat . trayektoriyasining . egrilik . radiusini . toping. (Javobi: 3 mm)

№19	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$\mathcal{G} = 160 \text{ Mm/s} = 160 \cdot 10^6 \text{ m/s}$	$F_L = q \cdot \mathcal{G} \cdot B \cdot \sin \alpha$	$R = \frac{9,11 \cdot 10^{-31} \cdot 160 \cdot 10^6}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,3} = 3 \cdot 10^3 \text{ m} = 3 \text{ mm}$
	$B = 0,3 \text{ T}$	$F_{m,q} = \frac{m \cdot \mathcal{G}^2}{R}$	
	$q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$		
	$m = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$	bundan	
	$\alpha = 90^\circ$	$R = \frac{m \cdot \mathcal{G}}{q \cdot B}$	

	$R = ?$		

№20 Bir . jinsli . magnit . maydonga . tik . uchib . kirgan . elektronning . aylanish . davri . 8 . ns . bo'lsa, . magnit . maydon . induksiyasini . aniqlang .
(Javobi: 4,5 mT)

№20	Berilgan	Formula	Hisoblash
0	$T = 8 \text{ ns} = 8 \cdot 10^{-9} \text{ s}$	$F_L = q \cdot \mathcal{G} \cdot B \cdot \sin \alpha$	$B = \frac{2 \cdot \pi \cdot 9,11 \cdot 10^{-31}}{8 \cdot 10^{-9} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} = 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ T}$
	$q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$	$F_{m,q} = \frac{m \cdot \mathcal{G}^2}{R}$	
	$m = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$	$\mathcal{G} = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{T}$	
	$\alpha = 90^\circ$	bundan	
	-----	$B = \frac{2 \cdot \pi \cdot m}{T \cdot q}$	
	$B = ?$		

21. induksiyasi 1,5 T bo'lgan magnit maydon induksiyasi chiziqlariga tik ravishda alfa zarra uchib kirdi. Unga ta'sir qilgan kuch 120 pnga teng bo'lsa, . uning . tezligi . qanday . bo'lgan? . (Javobi: $2,5 \cdot 10^7 \text{ m/s}$)

№21	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$F = 120 \cdot 10^{-12} \text{ N}$	$F_L = q \cdot \mathcal{G} \cdot B \cdot \sin \alpha$	$\mathcal{G} = \frac{120 \cdot 10^{-12}}{3,2 \cdot 10^{-19} \cdot 1,5 \cdot 1} = 2,5 \cdot 10^7 \text{ T}$
	$B = 1,5 \text{ T}$	Bundan	
	$q = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ C}$		
	$\alpha = 90^\circ$		
	-----	$\mathcal{G} = \frac{F_L}{q \cdot B \cdot \sin \alpha}$	
	$\mathcal{G} = ?$		

№1 Konturni kesib o'tuvchi magnit oqimi 0,4 s ichida 5 Wb dan 13 Wb gacha tekis o'zgardi. konturda hosil bo'lgan induksiya eYukni toping. (Javobi: 20 V)

№1	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$\Phi_1 = 5\text{Wb}$ $\Phi_2 = 13\text{Wb}$ $t = 0,4\text{s}$ $\varepsilon = ?$	$\varepsilon_1 = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ $\varepsilon = \frac{\Phi_2 - \Phi_1}{t}$	$\varepsilon = \frac{13 - 5}{0,4} = 20\text{V}$

№2 250 ta o'ramga ega bo'lgan o'altak ichida magnit oqimi 0,4 s da 2 Wb ga o'zgardi. O'altakda hosil bo'lgan induksiya EYukni toping. (Javobi:1250 V)

№2	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$N = 250$ $\Delta\Phi = 2\text{Wb}$ $t = 0,4\text{s}$ $\varepsilon = ?$	$\varepsilon = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$	$\varepsilon = 250 \frac{2}{0,4} = 1250\text{V}$

№3 Magnit oqimining o'zgarish tezligi 0,15 Wb/s bo'lganda, o'altakda 120 V (EYuk) hosil bo'lsa, o'altakdagi o'ramlar soni nechta bo'lgan? (Javobi:800 ta)

№3	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$\varepsilon = 120\text{V}$ $\Delta\Phi / t = 0,15\text{Wb/s}$ $N = ?$	$\varepsilon = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ bundan $N = \frac{\varepsilon}{\Delta\Phi / \Delta t}$	$N = \frac{120}{0,15} = 800\text{ta}$

№4Tok kuchi 0,6 abo'lganda induktivligi 80 mH bo'lgan o'altakda qanday magnit oqimi yuzaga keladi? (Javobi: 48 mW)

№4	Berilgan	Formula	Hisoblash
----	----------	---------	-----------

$I = 0,6 A$ $L = 80 mH = 80 \cdot 10^{-3} H$ ----- $\Phi = ?$	$\Phi = L \cdot I$	$\Phi = 80 \cdot 10^{-3} \cdot 0,6 = 48 \cdot 10^{-3} Wb = 48 mWb$
--	--------------------	--

№5 induktivligi 0,8 H va ko'ndalang kesim yuzi 200 sm² bo'lgan o'altak orqali 2 A tok o'tmoqda. agar o'altak 50 ta o'ramdan tashkil topgan bo'lsa, uning ichidagi magnit maydon induksiyasi qanday? (Javobi: 1,6 T)

№5	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$L = 0,8 H$ $S = 200 cm^2 = 200 \cdot 10^{-4} m^2$ $I = 2 A$ $N = 50$ ----- $B = ?$	$\Phi = L \cdot I$ $\Phi = NBS$ bundan $B = \frac{L \cdot I}{NS}$	$B = \frac{0,8 \cdot 2}{50 \cdot 200 \cdot 10^{-4}} = 1,6 T$

№6 induktivligi 2 H bo'lgan o'altakda o'zinduksiya eYukning qiymati 36 V bo'lishi uchun o'altakdan o'tayotgan tokning o'zgarish tezligi qanday bo'lishi kerak? (Javobi: 18 A/s)

№6	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$L = 2 H$ $\varepsilon = 36 V$ ----- $I / t = ?$	$\varepsilon_{o'z} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$ Bundan $\Delta I / \Delta t = \frac{\varepsilon}{L}$	$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{36}{2} = 18 \frac{A}{s}$

№7 O'zaksiz o'altakdagi magnit maydon induksiyasi 25 mT ga teng. Agar o'altak ichig a magnit singdiruvchanligi 60 bo'lgan ferromagnit o'zagi kiritilsa, o'altakdagi magnit maydon induksiyasi qanday bo'ladi? (Javobi: 1,5 T)

№7	Berilgan	Formula	Hisoblash
----	----------	---------	-----------

$B = 25 \text{ mT} = 25 \cdot 10^{-3} \text{ T}$ $\mu = 60$ $B_s = ?$	$B_s = B \cdot \mu$	$B_s = 25 \cdot 10^{-3} \cdot 60 = 1,5 \text{ T}$
---	---------------------	---

№8 Tokli o'altakdagi magnit maydon induksiyasi 20 mT ga teng. O'altak ichiga ferromagnit o'zagi kiritilganda unda hosil bo'lgan magnit maydon induksiyasi 180 mT ga ortgan bo'lsa, o'altakka tushirilgan o'zakning magnit singdiruvchanligi nimaga teng? (Javobi:10)

№8	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$B = 20 \text{ mT} = 20 \cdot 10^{-3} \text{ T}$ $B_s = 180 \text{ mT} = 180 \cdot 10^{-3} \text{ T}$ $\mu = ?$	$B_s = B \cdot \mu$ Bundan $\mu = \frac{B_s}{B}$	$\mu = \frac{180 \cdot 10^{-3}}{20 \cdot 10^{-3}} = 9$

№9 Radiusi 2 sm bo'lgan o'altakdan 3 A tok oqmoqda. O'altak ichiga magnit singdiruvchanligi 20 bo'lgan ferromagnit o'zagi kiritilsa, o'altak ichidagi magnit maydon induksiyasi qanday bo'ladi? Galtakdagi o'ramlar soni 150 ga teng. (Javobi:0,28 T)

№9	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$R = 2 \text{ sm} = 0,02 \text{ m}$ $I = 3 \text{ A}$ $\mu = 20$ $N = 150$ $B = ?$	Aylana shaklidagi tokli o'tkazgich markazida $B = \frac{\mu_0 \mu I}{2R}$ R-aylana radiusi ferromagnit o'zagi kiritilgan o'altak uchun	$B = \frac{7 \cdot 10^{-7} \cdot 20 \cdot 3 \cdot 150}{2 \cdot 0,02} = 0,28 \text{ T}$

$$B = \frac{\mu_0 \cdot \mu \cdot I \cdot N}{2 \cdot R}$$

№10 Solenoiddan 2,5 A tok o'tganda, unda 0,8 mWb magnit oqimi hosil bo'lsa, magnit maydon energiyasini aniqlang (Javobi: 2,5 mJ)

№10	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$\Phi = 0,8 \text{ mWb} = 0,8 \cdot 10^{-3} \text{ Wb}$ $I = 2,5 \text{ A}$ $W = ?$	$W_{\text{mag}}^{\text{max}} = \frac{\Phi \cdot I_0}{2}$	$W = \frac{0,8 \cdot 10^{-3} \cdot 2,5}{2} = 1 \text{ mJ}$

№11 induktivligi 5 mh bo'lgan o'altakdan 0,4 atok o'tmoqda. o'altakning magnit maydonning energiyasini toping. (Javobi: 4 mJ)

№11	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$L = 5 \text{ mH} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ H}$ $I = 0,4 \text{ A}$ $W = ?$	$W_{\text{mag}}^{\text{max}} = \frac{L \cdot I_0^2}{2}$	$W = \frac{5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,16}{2} = 4 \text{ mJ}$

№12 o'altakdan 3 a tok o'tganda uning magnit maydon energiyasi 60 mJ ga teng bo'lsa, o'altak induktivligi nimaga teng bo'ladi? (Javobi: 90 mh)

№12	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$W = 60 \text{ mJ} = 60 \cdot 10^{-3} \text{ J}$ $I = 3 \text{ A}$ $L = ?$	$W_{\text{mag}}^{\text{max}} = \frac{L \cdot I_0^2}{2}$ Bundan	$L = \frac{2 \cdot 10^{-3} \cdot 60}{9} = 13,3 \text{ mJ}$

	$L = \frac{2 \cdot W}{I_0^2}$	
--	-------------------------------	--

9-§. Elektromagnit induksiya hodisasi

Reja:

1. Faradey tajribalari.
2. Lents qoidasi.
3. Transformatorlar.

Mavzular mazmuni: Elektromagnit induksiya hodisasi. Faradey tajribalari.

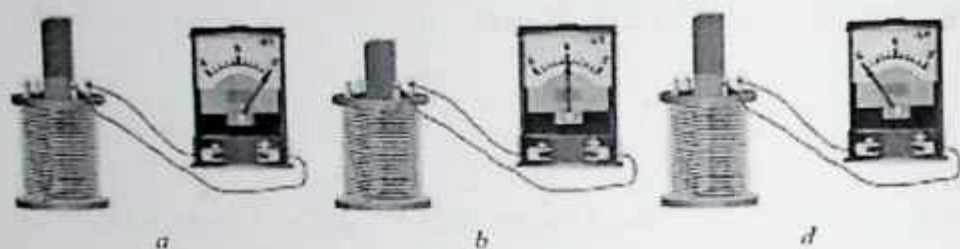
Faradeyning elektromagnit induksiya qonuni. Lents qoidasi. O'zinduksiya hodisasi.

Induktivlik. Fuko toklari. Elektr zanjirini ulash va uzishdagi ekstratoklar. O'zaro induksiya. Transformatorlar. Magnit maydon energiyasi va uning zichligi.

Tayanch iboralar: sirkulyatsiyasi va oqimi, solenoid va toroid, Gauss teoremasi, tokli ramka, kontur, Lents qoidasi, induktivlik. Fuko toklari, transformatorlar.

ELEKTROMAGNIT INDUKSIYA HODISASI. INDUKSIYA ELEKTR YURITUVCHI KUCH. FARADEY QONUNI

1820-yil daniyalik olim G. Ersted tokning magnit ta'sirini kashf qilgach, ingliz olimi Maykl Faradey magnit maydon orqali elektr tokini hosil qilishni o'ziga maqsad qildi. U bu masala ustida 10 yildan ortiq ishlab, 1831-yili uni ijobiy hal qildi.



9.1-Rasm. magnit maydon orqali elektr tokini hosil qilish

Ko'rgazmali asboblardan foydalangan holda Faradey tomonidan o'tkazilgan tajribani qaraylik. U g'altak va galvanometrni ketma-ket ulab, berk zanjir hosil qildi. G'altak ichiga doimiy magnit kiritilayotganda, galvanometr strelkasining og'ishi kuzatiladi. Bunda g'altakda tok hosil bo'ladi (a rasm). Agar magnitni harakatlantirmay g'altak ichida tinch tutib turilsa galvanometr strelkasi nolni ko'rsatadi, ya'ni g'altakda tokning yo'qolganligi kuzatiladi (b rasm). Magnit g'altak ichidan sug'urib olinayotganda esa, yana g'altakda tokning hosil bo'lganligi kuzatiladi. Bunda galvanometr strelkasi teskari tomonga og'adi (d rasm).

Agar magnit tinch holda bo'lib, g'altak harakatga keltirilsa ham, shu hodisani kuzatamiz. Demak, g'altakni kesib o'tayotgan magnit oqimi har qanday yo'l bilan o'zgartirilganda g'altakda elektr yurituvchi kuch hosil bo'lar ekan. Simli ramkaning uchlari bir-biriga to'g'ridan to'g'ri (yoki ularning uchlari biror asbob orqali) ulangan bo'lsa, uni berk kontur deb atash mumkin. U holda galvanometruga ulangan g'altak o'zaro ketma-ket ulangan berk konturni tashkil qiladi. Magnit maydonning oqimi o'zgarishi tufayli berk konturda elektr tokining hosil bo'lish hodisasini elektromagnit induksiya hodisasi, konturda yuzaga kelgan tok esa induksion tok deb ataladi. Faradey o'zi amalga oshirgan tajriba natijalarini tahlil qilib, quyidagi xulosaga keldi: induksion tok berk konturda faqat o'tkazgich konturi orqali o'tayotgan magnit induksiya oqimi o'zgarganda yuzaga keladi, ya'ni magnit oqimi o'zgarib turgan vaqt davomidagina mavjud bo'ladi.

Bu xulosa elektromagnit induksiya qonuni deb ham yuritiladi.

Ma'lumki, elektr zanjirida tok uzoq vaqt mavjud bo'lib turishi uchun zanjirning biror qismida elektr yurituvchi kuch (EYuK) manbai bo'lishi kerak. Konturda doimiy

ravishda magnit oqimining o'zgarib turishi natijasida hosil bo'lgan EYuK unda induksion tokni vujudga keltiruvchi tashqi manba vazifasini bajaradi. Induksion tokni hosil qiluvchi EYuK induksiya elektr yurituvchi kuch deyiladi.

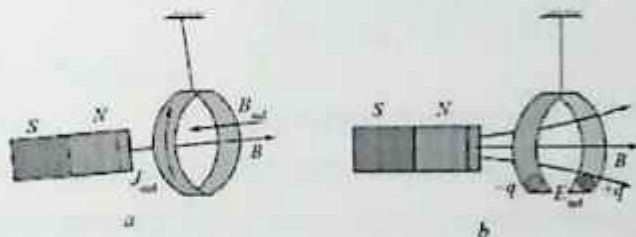
Yopiq konturda hosil bo'lgan elektromagnit induksiya EYuK, son qiymati jihatidan shu konturni kesib o'tgan magnit oqimi o'zgarishiga teng va ishorasi jihatidan qarama-

$$\text{qarshidir: } \varepsilon_i = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad 9.1$$

Bunga elektromagnit induksiya qonuni yoki Faradey – Maksvell qonuni deyiladi. Ifodadagi (–) ishora konturda vujudga keladigan induksion tokning yo'nalishi bilan bog'liq bo'lib, y Lens qoidasiga ko'ra tushuntiriladi.

XBSda induksiya elektr yurituvchi kuchning birligi qilib volt (V) qabul qilingan. Rus olimi X.Lens induksion tokning yo'nalishini aniqlash maqsadida quyidagi tajribani o'tkazdi. U biri butun va ikkinchisi kesik bo'lgan yengil alyuminiy halqalarni ipga bog'lab, tayanchga osdi. Agar magnit butun halqaga yaqinlashtirilsa, unda induksion tok hosil bo'ladi. Ayni paytda bu tok halqa ichida o'zining magnit maydonini hosil qiladi. Hosil bo'lgan magnit maydon esa magnitning halqaga yaqinlashishiga qarshilik ko'rsatadi va undan qochadi (a rasm). Agar magnitni halqadan uzoqlashtira boshlasak, halqa magnitga tortilib, unga ergashadi.

Magnit kesik halqaga yaqinlashtirilganda yoki undan uzoqlashtirilganda magnitning halqaga ta'siri kuzatilmaydi. Bunga sabab



kontur berk bo'lmaganligi uchun halqada induksion tok yuzaga kelmasligidir

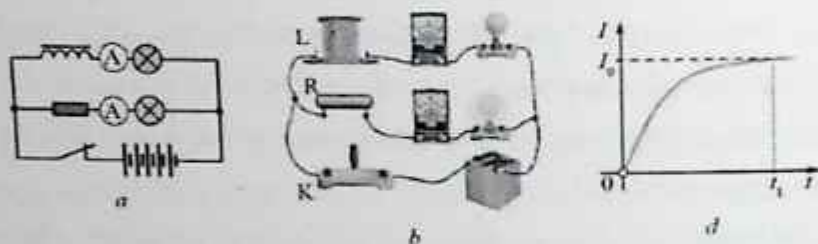
9.2- b rasm X.Lens induksion tokning yo'nalishi

Tajriba natijalariga ko'ra Lens induksion tok yo'nalishini aniqlash qoidasini topdi. Bu qoida uning sharafiga Lens qoidasi deb atalib, quyidagicha ta'riflanadi: berk konturda hosil bo'lgan induksion tok shunday yo'nalganki, u o'zining magnit maydoni bilan shu tokni hosil qilayotgan magnit oqimining o'zgarishiga qarshilik ko'rsatadi.

O'ZINDUKSIYA HODISASI. O'ZINDUKSIYA EYUK. INDUKTIVLIK

Har qanday konturdan o'tayotgan tok shu konturni kesib o'tuvchi magnit oqimini vujudga keltiradi. Agar konturdan o'tayotgan tok o'zgarsa, u hosil qilgan magnit oqimi ham o'zgaradi. Natijada konturda induksion EYUK hosil bo'ladi. Bu hodisa o'zinduksiya hodisasi deb ataladi.

O'zinduksiya hodisasini kuzatish mumkin bo'lgan elektr zanjiri a rasmda keltirilgan. Zanjir ikkita bir xil lampa, R qarshilik, ko'p o'ramli g'altak, kalit va tok manbayidan iborat. Lampalarning biri ichida temir o'zagi bo'lgan g'altak orqali, ikkinchisi R qarshilik orqali tok manbayiga ulangan. Kalit ulanganda g'altak orqali zanjirga ulangan lampa biroz kechikib, R qarshilik orqali ulangan ikkinchi lampa esa, kalit ulangan zahotiy oq yonganligini ko'ramiz (b rasm). Chunki, kalit ulangan zahotiy oq g'altakdan o'tayotgan tok kuchi t₁ vaqt ichida noldan I₀ gacha o'zgaradi (d rasm).



9.3-Rasm. o'zinduksiya hodisasi

Bu davrda g'altakda tok manbayi hosil qilgan tokka teskari yo'nalgan o'zinduksiya toki yuzaga keladi. Bu birinchi lampaning kechroq yonishiga sabab bo'ladi.

Xuddi shuningdek, kalit uzilganda ham ikkinchi lampa shu zahoti o'chib, ammo

birinchi lampa sekin xiralashib o'chadi. Tokning hosil qilgan magnit maydoni magnit oqimi bilan tavsiflanadi. G'altak ichidagi hosil bo'lgan magnit oqimi qanday fizik kattaliklarga bog'liq bo'ladi?

Tajribalarning ko'rsatishicha, g'altak ichida hosil bo'lgan magnit oqimi: birinchidan, g'altakda hosil bo'lgan magnit oqimi undan o'tayotgan tok kuchiga to'g'ri proporsional, ya'ni: $\Phi \sim I$

ikkinchidan, g'altakda hosil bo'lgan magnit oqimi g'altakning geometrik o'lchamlariga (o'ramlar soni, ko'ndalang kesim yuzi, uzunligi) va o'zagi borligiga bog'liq ekan.

Bu tajribalar natijasini umumlashtirib, quyidagi xulosaga kelamiz: tokli o'tkazgichning hosil qilgan magnit oqimi undan o'tayotgan tok kuchiga va g'altakning parametrlariga ham bog'liq bo'ladi, ya'ni:

$$\Phi = L \cdot I \quad 8.2$$

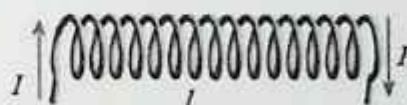
bunda: L – g'altakning geometrik o'lchamlariga va g'altak joylashgan muhitning magnit xossalriga bog'liq bo'lgan proporsionallik koeffitsiyenti bo'lib, u g'altakning induktivligi deyiladi.

XBSda induktivlik birligini o'zinduksiya hodisasini birinchi bo'lib kuzatgan Amerika olimi J. Henri sharafiga henri (H) qabul qilingan. Ifodaga ko'ra g'altakda hosil bo'lgan o'zinduksiya elektr yurituvchi kuchning ifodasini quyidagicha yozamiz:

$$\varepsilon = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} \quad 8.3$$

bu ifodadan quyidagi xulosa kelib chiqadi: o'zinduksiya elektr yurituvchi kuchining kattaligi konturdagi tok kuchining o'zgarish tezligiga ($\Delta I/\Delta t$)

to'g'ri proporsional bo'ladi. Tenglikdan induktivlik (yoki o'zinduksiya A



9.4-Rasm. o'zinduksiya

koeffitsiyenti)ning quyidagi fizik ma'nosi va birligi kelib chiqadi: tok kuchining o'zgarish tezligi $1A/s$ bo'lganda konturda bir volt o'zinduksiya EYuK yuzaga kelsa, konturning induktivligi $1h$ ga teng bo'ladi,

ya'ni: $1H = 1V/(1A/s) = 1V \cdot s/1A$

Uzunligi l , ko'ndalang kesim yuzasi S , o'ramlar soni N bo'lgan uzun g'altak yoki solenoid (8.4-rasm)ning induktivligi quyidagi ifoda yordamida aniqlanadi:

$$L = \frac{\mu_0 \mu N^2 S}{l} \quad 9.4$$

Bunda: μ_0 – koeffitsiyent vakuumning magnit doimiysi bo'lib, uning son qiymati $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ ga teng. μ – solenoid ichidagi muhitning magnit

singdiruvchanligi (moddaning magnit singdiruvchanligi to'g'risida keyingi mavzuda batafsil to'xtalamiz).

O'zinduksiya hodisasini mexanikadagi inersiya hodisasiga o'xshatish mumkin. Inersiya hodisasida jismning massasi qanday ahamiyatga ega bo'lsa, o'zinduksiya hodisasida induktivlik ham shunday ahamiyatga ega.

Ya'ni, massa qancha katta bo'lsa, jism shuncha inertoq; induktivlik qancha katta bo'lsa, zanjirdagi tok o'zgarishi shuncha sekin (inert) bo'ladi. Yuqorida ko'rib o'tgan misoldagi g'altak ketma-ket ulangan lampaning yonishi va o'chishining asta-sekin ro'y berish jarayonini, inertoq jismning joyidan sekin qo'zg'alishi va uning to'xtashi birdaniga amalga oshmasligi bilan taqqoslash mumkin.

Uyirmaviy toklar (Fuko toklari). Yumshoq ferromagnitdan yasalgan o'zagining uchi chiqib turgan g'altak olamiz va o'zak ustiga metal buyum qo'yamiz. Agar g'alrakni o'zgaruvchan taok tarmog'iga ulasak, buyum tez va kuchli qiziydi.

Buyumni o'zakka kiydirilgan K alyuminiy halqa bilan almashtiramiz va g'altakni yana tarmodda ulaymiz. Agar halqa ushlab turilsa, u kuchli qiziydi, agar ushlab turilmasa, g'altak tarmoqqa ulangan zahoti u o'zakdan sakrab chiqib ketadi. Sababi, halqada hosil bo'lgan induksion tok g'alrakdagi tokka qarama-qarshi yo'nalgan bo'ladi.

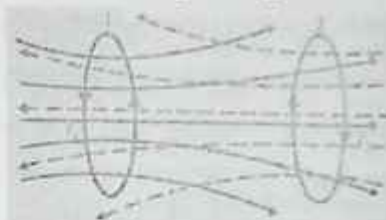
O'zgaruvchan magnit maydonga joylashgan yaxlit metal jismlarda hosil bo'lib, uning ichida tutashuvchi induksion toklar uyirmaviy toklar yoki Fuko toklar deb ataladi. (bu hodisani o'rgangan fransuz olimi J.Fuko sharafiga shunday atalgan). O'zaro induksiya. Agar g'altak 2 o'zgaruvchi tok oqayotgan g'altak 1 yoniga kelsa, unda g'altak 2 da induksiyalangan EYuK vujudga keladi. Bunga sabab g'altak 1 dan o'zgaruvchan tok oqishi natijasida hosil bolgan o'zgaruvchan magnit maydonning uyurmali elektr maydoni vujudga keltirishi va bu maydon o'z navbatida ikkinchi g'altakda induksiya EYuK ni hosil qilishidir.

Natijada 2 g'altakda hosil bo'lgan EYuK : $\varepsilon_{21} = -\frac{d\Phi_{21}}{dt}8.5$

Bunda Φ_{12} - I1 tok oqayotgan birinchi g'altak atrofida hosil bo'lgan magnit maydonning ikkinchi g'altakka singan qismi. U tok kuchi I1 ga proporsional: $\Phi_{21} = L_{21} \cdot I_1$

8.6

Bu yerda L_{21} - o'zaro induksiya koeffitsiyenti.



9.5-Rasm O'zaro induksiya

Shuningdek, ikkinchi g'altakdan o'zgaruvchan tok o'tganda birinchi g'altakda:

$\varepsilon_{21} = \frac{d\Phi_{21}}{dt}$ o'zaro induksiya EYuK vujudga keladi. 8.5-Rasm O'zaro induksiya

Hisoblashlar $L_{21} = L_{12}$

Ekanligini ko'rsatadi va ularga konturlarning o'zaro induktivligi deyiladi.

Bir konturdagi tok kuchining o'zgarishi natijasida ikkinchi konturda EYuK ning vujudga kelishiga o'zaro induksiya hodisasi deyiladi.

Agar konturlar N_1 va N_2 o'ramlari mavjud g'altaklardan iborat bo'lsa unda o'zaro induktivlik quyidagicha aniqlanadi: $L_{12} = L_{21} = \mu_0 \cdot \mu \cdot \frac{N_1 \cdot N_2}{l} \cdot S$. 9.8

TRANSFORMATORLAR

Transformatorning tuzilishi va ishlashi. Transformator deb ataluvchi asbobda ikkita g'altak umumiy o'zakka kiydiriladi. Bunda birinchi g'altakdagi o'ramlar - birlamchi chulg'am, ikkinclii g'altakdagi o'ramlar - ikkilamchi chulg'am deyiladi. Birlamchi chulg'amni U_1 kuchlanishli o'zgaruvchan tokka ulaylik. O'zgaruvchan tok chulg'am larda o'zgaruvchan magnit maydonni hosil qiladi. Bu chulg'amning magnit kuch chiziqlari o'zak bo'yicha ikkilamchi chulg'amga o'tadi. Natijada ikkilamchi chulg'amda U_2 kuchlanishli o'zgaruvchan induksion tok hosil bo'ladi. Bu tokning chastotasi birlamchi chulg'am- dagi tokning chastotasi bilan bir xil bo'ladi.

Ikkilamchi chulg'amdagi kuculanislmning miqdori birlam chi va ikkilam chi chulg'am dagi sim larning o'ramlar soniga bog'liqdir. Tajriba shuni ko'rsatadiki, ikkilamchi chulg'amdagi o'ramlar soni birlamchi chulg'amdagidan neclia marta kam bo'lsa, ikkinclii chulg'amda hosil bo'lgan tokning kuchlanislii shuncha marta kam bo'ladi. Va aksincha, ikkilamclii chulg'amdagi o'ramlar soni birlamchi

chulg'amdagidan necha marta ko'p bo'lsa, ikkinclii chulg'amdagi kuchlanish shuncha marta ko'p bo'ladi.

Birlamchi chulg'am dagi o'ram lar soni unga berilgan kuchlanish U_1 , ikkinclii chulg'amdagi o'ramlar soni unda hosil bo'lgan kuchlanish bo'lsin. U_2 holda quyidagi ifoda o'rinli bo'ladi:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \quad 9.9$$

demak, o'zgaruvchan tokning kuchlanisliini o'zgartirish mumkin. Bu o'zganivchan tokning muhim xususiyatidir.

O'zgaruvchan tok o'tayotgan o'tkazgichdagi kuchlanishni o'zgartirishga o'zgaruvchan tokni transformatsiyalash deyiladi.

Transformator — o'zganivchan tok o'tayotgan o'tkazgichdagi kuchlanishni transformatsiyalaydigan asbobdir.

«Transformatsiyalash», «transformator» so'zlari lotincha «transformo» so'zidan olingan bo'lib, «o'zgartiraman» degan ma'noni bildiradi. Transformator va uning elektr zanjir sxemasida belgilanishi aks ettirilgan.

Transformatorlar ikki xil bo'ladi.

Agar transformatorning ikkilamchi chulg'amidagi kuchlanish birlamchi chulg'amidagi kuchlanishdan katta bo'lsa, bunday transformator yuksaltiruvchi transformator deb ataladi.

Yuksaltiruvchi transform atorda $n_2 > n_1$ va $U_2 > U_1$ bo'ladi.

Agar transformatorning ikkilamchi chulg'amidagi kuchlanish birlamchi chulg'amidagi kuchlanishdan kichik bo'lisa, bunday transformator pasaytiruvchi transformator deb ataladi.

Pasaytiruvchi transform atorda $n_2 < n_1$ va $U_2 < U_1$ bo'ladi.

Transformator da energiyaning aylanishi. Transformator birlamchi chulg'amidagi ma'lum kuchlanishli elektr energiyani ikkilamchi chulg'amdagi boshqa kuchlanishli elektr energiyaga aylantiradi.

Transformatorning birlamchi va ikkilamchi chulg'amlaridagi tokning quvati mos ravishda quyidagiga teng: $P_1 = I_1 U_1$ va $P_2 = I_2 U_2$ 9.10

Takomillashgan transformatorlarning foydali ish koeffitsienti juda yuqori bo'lib, 99-99,5% ni tashkil etadi. Bunday transformatorlarda transformatsiya paytida elektr energiya yo'qotilishini hisobga olmasa ham bo'ladi, ya'ni $P_1 = P_2$ deb olish mumkin. U

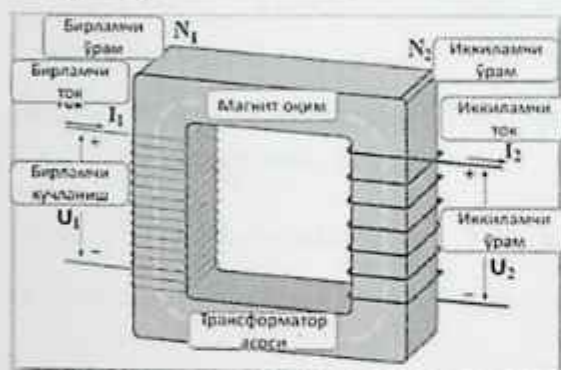
$$\text{holda: } I_1 U_1 = I_2 U_2 \quad \text{yoki} \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1} \quad 9.11$$

Transformatorida ikkilamchi chulg'amda kuchlanish necha marta ortsa, tok kuchi shuncha marta kamayadi.

$$k - \text{ransformatsiya koeffitsienti deb ataladi: } k = \frac{I_2}{I_1} = \frac{U_1}{U_2} \quad 9.12$$

$k = \frac{I_2}{I_1} = \frac{U_1}{U_2} > 1$; $k > 1$ bo'lsa, transformator pasaytiruvchi,

$k = \frac{I_2}{I_1} = \frac{U_1}{U_2} < 1$; $k < 1$ bo'lganda yuksaltiruvchi transformator deyiladi.



9.6-Rasm Transformator

Magnit maydon energiyasi va uning hajmiy zichligi. Zanjirmagnit maydonning energiyasi W_m zanjir ulanganda hosil bo'ladigan o'zinduksiya EYuK ni yengish uchun sarflanadigan ishga teng. Agar bu holda o'zinduksiya EYuK ning o'rtacha qiymati $\epsilon o'z$ ga teng bo'lsa va zanjirdagi tokning Δt o'siah vaqtida undan q zaryad o'tsa, o'zinduksiya EYuK ni engish ishi $\epsilon o'z = q$ ga teng bo'ladi. U holda: $W_m = - \epsilon o'z q$ 8.13

Minus ishora zaryadlar bu holda o'zinduksiya EYuK ga qarshi harakatlanayotganligini bildiradi. $\epsilon o'z = - L \Delta I / \Delta t$ bo'lgani uchun.

$$W_m = L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t} \cdot q = L \cdot \Delta I \cdot \frac{q}{\Delta t} \quad 9.14$$

Zanjirdagi tok 0 dan I ga qadar ortgandan, $\Delta I = I - 0 = I$ ga ega bo'lamiz, $q / \Delta t$ esa tok kuchining ortish vaqtidagi uning o'rtacha qiymatidir. O'rtacha tok kuchini $\frac{1}{2}$ ga teng

deb olib va ΔI hamda $q/\Delta t$ qiymatlarni yuqorida keltirilgan ifodaga qo'yib, I tok oqayotgan zanjir magnit maydonining energiyasini hisoblash formulasini topamiz:

$$W_m = L \cdot \frac{I \cdot I}{2} = \frac{L \cdot I^2}{2}$$

XBS da energiya birligi J – Joullarda o'lchanadi.

Zanjir magnit maydonining energiyasi undagi tok kattaligining kvadratiga to'g'ri proporsional va uning L induktivligiga bog'liq.

O'zagi ferromagnitdan yasalgan solenoidning induktivligi kata bo'lganidan, elektromagnitga ega bo'lgan zanjirda kata magnit energiya hosil bo'ladi.

Energiyasi va uning hajmiy zichligi. $W_m = \frac{L \cdot I^2}{2}$ ifodaga uzunligi l , kesim yuzasi S bo'lgan solenoid induktivligining

$$L = \mu_0 \cdot \mu \cdot \frac{N_1 \cdot N_2}{l} \cdot S \text{ ifodasini qo'ysak, 9.15}$$

$L = \frac{1}{2} \cdot \mu_0 \cdot \mu \cdot \frac{N_1 \cdot N_2}{l} \cdot S$ 8.16 ni hosil qilamiz. Shuningdek, solenoid magnit maydon induksiya sinining

$$B = \frac{\mu_0 \cdot \mu \cdot N \cdot I}{l} \text{ ifodasidan } I = \frac{Bl}{\mu_0 \cdot \mu} \text{ va } B = \mu_0 \cdot \mu \cdot H \text{ ligini etiborga olsak: } W =$$

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{B^2}{\mu_0 \cdot \mu} = \frac{B \cdot H}{2} \cdot V \quad 9.17$$

ni hosil qilamiz. Bu yerda $V = l \cdot S$ – solenoidning hajmi. Solenoidning magnit maydoni bir jinsli va uning ichida jamlangan bo'lib, o'zgarmas hajmiy zichlikka ega:

$$\omega = \frac{W}{V} = \frac{1}{2} \cdot \frac{B^2}{\mu_0 \cdot \mu} = \frac{\mu_0 \cdot \mu \cdot H^2}{2} = \frac{B \cdot H}{2} \quad \text{yoki} \quad \omega = \frac{B \cdot H}{2} \quad 9.18$$

Bu ifoda bir jinsli bo'lmagan maydonlar uchun ham o'rinli.

Sinov savollari

Amper kuchi. Amper kuchining yo'nalishi.

Lorents kuchi. Lorents kuchining yo'nalishi.

Parallel toklarning o'zaro ta'siri. Tok kuchi-Amper

4. Magnit maydon induksiya oqimi va uning birligi.

5. Magnit maydon induksiya vektorining tsirkulyatsiyasi haqidagi teorema ta'rif bering

6. Magnit maydon uchun Gauss teoremasini ta'riflang

7. Tokli o'tkazgichni magnit maydonda ko'chirishda bajarilgan ish ifodasini keltirib chiqaring

8. Tokli konturni magnit maydonda ko'chirishda bajarilgan ish ifodasini keltirib chiqaring

9. Elektromagnit induksiya hodisasi. Faradey tajribalari.

10. Elektromagnit induksiya hodisasi. Faradey qonuni.

11. Induksiya elektr yurituvchi kuchi. Lents qoidasi.

12. Induktivlikga ta'rif bering

13. O'zinduksiya hodisasini ta'riflang va ifodasini yozing

ELEKTROMAGNIT INDUKSIYA

Asosiy tushunchalar va formulalar

Elektromagnit induksiya qonuni: berk konturda induksiyalangan EYuK modul jihatidan kontur bilan chegaralangan sirt orqali magnit oqimining o'zgarish tezligiga teng, ishorasi esa qarama-qarshi:

$$\varepsilon_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{d\Phi}{dt}$$

O'ramlar soni N tabo'lgan g'altakda vujudga keluvchi elektromagnit induksiya EYuK:

$$\varepsilon_i = N\varepsilon_{\text{y}} = -N\frac{d\Phi}{dt}$$

Bu yerda Φ -bitta o'ram yuzi orqali o'tayotgan magnit induksiya oqimi.

Induksiyasi B bo'lgan bir jinsli magnit maydonda ϑ tezlik bilan harakatlanayotgan l uzunlikdagi o'tkazgichda induksiyalanadigan EYuK:

$$\varepsilon_i = \vartheta Bl \sin \alpha$$

Buyerda α -tezlik vektori $\vec{\vartheta}$ magnit induksiya vektori $\vec{B}$ o'asidagi burchak; $\vec{B}$ o'tkazgichga perpendikulyar.

Konturning o'zinduksiya magnit oqimi-konturdan tok o'tayotganda hosil bo'ladigan magnit oqimi:

$$\Phi_{\text{oi}} = LI$$

bu yerda: I -konturdan o'tayotgan tokning kuchi, L -konturning induktivligi.

O'zinduksiya EYuK:

$$\varepsilon_{o'l} = -\frac{d\Phi_{o'l}}{dt} \quad (L=\text{const holda} \quad \varepsilon_{o'l} = -L \frac{dI}{dt}),$$

bu yerda $\frac{dI}{dt}$ -konturdagi tokning o'zgarish tezligi.

Uzunligi l , kesim yuzi S , o'ramlar soni N bo'lgan uzun g'altak (solenoidning induktivligi):

$$L = \mu_0 \mu N^2 S / l = \mu_0 \mu \cdot n^2 V, \quad d_{sim} = l / N$$

d_{sim} -sim diametri

bu yerda: n -solenoidning uzunlik birligidagi o'ramlar soni, V -solenoidning hajmi, μ -solenoid o'zagining magnit singdiruvchanligi.

Tokli g'altak magnit maydonining energiyasi:

$$W_M = \frac{1}{2} LI^2.$$

Magnit maydon energiyasining zichligi:

$$\omega = \frac{\Delta W_M}{\Delta V} = \frac{dW_M}{dV} = \frac{B^2}{2\mu_0 \mu} = \frac{\mu_0 \mu H^2}{2}.$$

Masala yechish namunalari

1-misol. Uzunligi 0,6 m va qarshiligi 0,2 Om bo'lgan AB o'tkazgich EYuK 0,96 V va ichki qarshiligi 0,1 Om elektr energiya manbaiga ulangan mis sim (shina) CB bo'ylab harakat qiladi. Shinaning qarshiligi hisobga olinmasa bo'ladigan darajada kichik. Agar o'tkazgich: a) tinch tursa, b) o'quvchi tomonidan yo'nalgan induktsiyasi 1,6 T bo'lgan bir jinsli magnit maydonida 0,5 ms tezlik bilan harakatlansa, undagi tok kuchini aniqlang.

Berilgan: $l=0,6$ m-o'tkazgichning uzunligi; $R=0,2$ Om -o'tkazgichning qarshiligi; $\varepsilon=0,96$ V-tok manbaining EYuK; $r=0,1$ Om-tok manbaining ichki qarshiligi; $v=0,5$ ms-o'tkazgichning harakat tezligi; $B=1,6$ T-magnit maydon induktsiyasi.

Topish kerak: a) I1-tinch turgan o'tkazgichdagi tok kuchini; b) I2-magnit maydonida harakatlanayotgan o'tkazgichdagi tok kuchini.

Yechilishi. a) Agar o'tkazgich tinch holatda tursa, tok kuchi II butun zanjir uchun Om qonuni formulasidan aniqlanadi.

$$I_1 = \frac{\varepsilon}{R+r}; I_1 = \frac{0,96V}{0,20m + 0,10m} = 3,2 \text{ A.}$$

b) Agar o'tkazgich bir jinsli magnit maydonda v tezlik bilan harakatlansa, unda induksiya EYuKi hosil bo'ladi, agar o'tkazgich berk zanjirning biror qismi hisoblansa, yo'nalishi o'ng qo'l qoidasi bilan aniqlanuvi induksion tok hosil bo'ladi. Biz ko'rayotgan misolda induksion tok, II tokka qarshi yo'nalgan. Berilgan hol uchun Om qonuni quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$I_2 = \frac{\varepsilon - \varepsilon_{\text{ind}}}{R+r}; \varepsilon_{\text{ind}} = Blv; \text{ u holda } I_2 = \frac{\varepsilon - Blv}{R+r}. \text{ Bu yerda diqqatni magnit maydon induksiyasi va tezlik vektori 90o burchak hosil qilishiga qaratish kerak.}$$

$$I_2 = \frac{0,96V - 1,6T \cdot 0,6m \cdot 0,5m/s}{0,20m + 0,10m} = 1,6 \text{ A.}$$

javobi. Tinch turgan o'tkazgichdagi tok kuchi 3,2 A ga; magnit maydonda harakatlanganda 1,6 A ga teng.

2-misol. Induksiyasi 0,12 T bo'lgan bir jinsli magnit maydonga 10 sm diametrli yumaloq ramka shunday joylashtiril-ganki, unda induksiya vektori ramka tekisligiga perpendikulyar yo'nalgan (13.2-rasm). Agar ramkani 0,14 s ichida 180o burchakka burishda unda EYuK 0,942 V hosil bo'lsa, uning o'ramlar sonini aniqlang.

Berilgan: $B=0,12 \text{ T}$ -magnit maydon induksiyasi; $d=0,1 \text{ m}$ -o'ramning diametri; $\alpha=180$ o-ramkaning burilish burchagi; $\Delta t=0,14 \text{ s}$ -vaqt oralig'i; $\varepsilon_{\text{ind}}=0,942 \text{ V}$ -induksiya EYuK.

Topish kerak: N-ramkadagi o'ramlar sonini.

Yechilishi. Ramka burilganda uning konturi bilan chegaralangan magnit oqimi o'zgaradi va unda induksiya EYuK yuzaga keladi:

$$\varepsilon_{\text{ind}} = -\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} N$$

Masalaning shartiga ko'ra ramka burilmasdan avval uning tekisligiga o'tkazilgan normal va induksiya vektori $\alpha=0$ burchak hosil qiladi va bunda ramka konturi orqali

o'tuvchi magnit oqimi: $\Phi_1 = BS \cos \alpha_0$. Ramka burilgandan keyin: $\Phi_2 = BS \cos \alpha$, bu yerda $\alpha = 180^\circ$. Magnit oqimining o'zgarishi:

$$\Delta \Phi = \Phi_2 - \Phi_1; \Delta \Phi = BS \cos 180^\circ - BS \cos 0^\circ; \quad \cos 180^\circ = -1, \quad \cos 0^\circ = 1, \quad \text{u holda}$$

$$\Delta \Phi = -BS - BS = -2BS; \quad S = \frac{\pi d^2}{4} \quad \text{ni hisobga olsak, u holda quyidagini olamiz:}$$

$$\Delta \Phi = -\frac{B \pi d^2}{2}.$$

Induksiya EYuK uchun ifodasiga magnit oqimining o'zgarishini qo'yib, quyidagini

olamiz: $\varepsilon_{\text{ind}} = \frac{B \pi d^2}{2 \Delta t} N$. Bu yerdan o'ramlar soni:

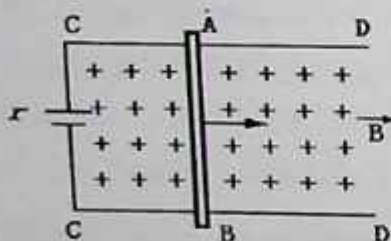
$$N = \frac{2 \varepsilon_{\text{ind}} \Delta t}{B \pi d^2}; \quad N = \frac{2 \cdot 0,942 \text{ V} \cdot 0,14 \text{ s}}{0,12 \text{ T} \cdot 3,14 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2} = 70.$$

javobi. Ramkadagi o'ramlar soni 70 ga teng.

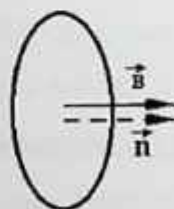
3-misol. Tok kuchi 0,1 s ichida 5 dan 10 A gacha o'zgarganda 10 V o'zinduksiya EYuK hosil bo'ladigan g'altakning induktivligini aniqlang. Bunda g'altakning magnit maydon energiyasi qanchaga o'zgaradi?

Berilgan: $I_1 = 5 \text{ A}$ g'altakdagi boshlang'ich tok kuchi, $I_2 = 10 \text{ A}$ - Δt vaqtdan keyingi tok kuchi; $\Delta t = 0,1 \text{ s}$ - tok kuchining o'zgarish vaqti; $\varepsilon_{\text{oz}} = 10 \text{ V}$ - o'zinduksiya EYuK.

Topish kerak: L - g'altakning induktivligini; ΔW - g'altakning magnit maydon energiyasi o'zgarishini.



13.1-rasm



13.2-rasm

Yechilishi. O'zinduksiya EYuK uchun quyidagi formulani yozamiz:

$$\varepsilon_{\text{oz}} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} \quad \text{Bundan g'altakning induktivligini aniqlaymiz:}$$

$$L = \frac{\varepsilon_{\text{ind}} \Delta t}{\Delta I} = \frac{\varepsilon_{\text{ind}} \Delta t}{I_2 - I_1}; \quad L = \frac{10V \cdot 0,1s}{10A - 5A} = 0,2 \text{ H}.$$

Tok kuchlari I_1 va I_2 bo'lganda magnit maydon energiyasi quyidagiga teng bo'ladi:

$$W_1 = \frac{LI_1^2}{2}; \quad W_2 = \frac{LI_2^2}{2}.$$

Energiyaning o'zgarishi quyidagiga teng bo'ladi:

$$\Delta W = W_2 - W_1 = \frac{LI_2^2}{2} - \frac{LI_1^2}{2} = \frac{L}{2}(I_2^2 - I_1^2);$$

$$\Delta W = \frac{0,2H}{2}[(10A)^2 - (5A)^2] = 7,5 \text{ j}.$$

javobi. G'altakning induktivligi 0,2 H; tok kuchining ortishi bilan magnit maydon energiyasi 7,5 j ga ortadi.

4-misol. Nikel o'zakli 0,5 m uzunlikdagi solenoid ko'ndalang kesimining yuzi 50 sm² bo'lgan 1000 o'ramga ega. Agar solenoid ichidagi tok kuchi 10 A, nikelning magnit singdiruvchanligi 200 bo'lsa, uning ichidagi magnit oqimini va magnit maydon energiyasini aniqlang.

Berilgan: $l=0,5$ m-solenoidning uzunligi; $N=1000$ -o'ramlar soni; $S=5 \cdot 10^{-3}$ m² - o'ramning ko'ndalang kesimi yuzi; $I=10$ A-tok kuchi; $\mu=200$ -nikelning magnit singdiruvchanligi; jadvaldan: $\mu_0=4\pi \cdot 10^{-7}$ Hm-magnit doimiysi.

Topish kerak. F-solenoid ichidagi magnit oqimini; W-solenoid magnit maydonining energiyasi.

Yechilishi. Magnit oqimining formulasi: $F=BSI$. O'zakli solenoid magnit maydon

energiyasi $V = \frac{\mu_0 \mu}{l} \frac{IN^2}{2}$ ga teng bo'lsa, u holda:

$$F = \frac{\mu_0 \mu}{l} IN^2;$$

$$F = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m} \cdot 200}{0,5 \text{ m}} \frac{10 \text{ A} \cdot 1000}{2} 5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ Wb}.$$

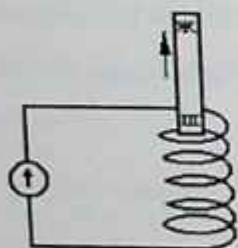
Magnit oqimini va tok kuchini bilgan holda solenoid ichidagi magnit maydonni aniqlash mumkin:

$$W = \frac{1}{2} \Phi I; \quad W = \frac{1}{2} \cdot 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ Wb} \cdot 10 \text{ A} \approx 1,3 \cdot 10^{-1} \text{ J}.$$

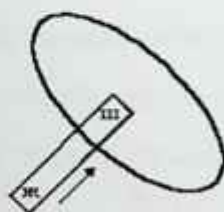
javobi. Solenoid ichidagi magnit oqimi $2,5 \cdot 10^{-2}$ Wb; magnit maydon energiyasi taxminan 0,13 J ga teng.

SAVOL VA MASALALAR

- 8.1. Bir xil ikkita magnit bir xil balandlikdan bir paytda tashlandi. Birinchi magnit yopiq o'tkazuvchan halqadan, ikkinchi magnit ochiq o'tkazuvchan halqadan o'tadi. Qaysi magnit tezroq tushadi? Nima uchun?
- 8.2. O'tkazuvchan kontur bir jinsli, hamda bir jinsli bo'lmagan magnit maydonda ilgarilanma harakat qilayapti. Bu hollarda induksiya EYuK hosil bo'ladimi?
- 8.3. Vertikal tekislikda osilgan mis halqaga ikkita bir xil po'lat sterjenni navbatma-navbat yaqinlashtiriladi. Bir holda halqa sterjendan uzoqlashadi. Nima uchun?
- 8.4. Uzun solenoidda to'g'ri magnit yuqoriga harakatlanganda (13.3-rasm) yuzaga keladigan induksion tok yo'nalishini aniqlang.



13.3-rasm



13.4-rasm

- 8.5. Mis halqaga to'g'ri magnit 13.4-rasmda ko'rsatilgandek qilib yaqinlashtiriladi. Halqadagi induksion tokning yo'nalishini aniqlang.
- 8.6. Doimiy to'g'ri magnit mis tsilindr ichida erkin tushadi. Harakatni erkin tushish tezlanishida bo'lib o'tadi deb hisoblash mumkinmi?
- 8.7. Agar har sekundda konturdagi magnit oqimi $3,4 \cdot 10^{-2}$ Wb ga o'zgarsa, unda yuzaga keluvchi induksiya EYuK qanchaga teng?

- 8.8. 500 ta o'rami bo'lgan solenoidda magnit oqim 5 ms da 3 dan 7 mWb gacha tekis kamaydi. Solenoiddagi induksiya EYuK ning kattaligini toping.
- 8.9. 2000 ta o'ramli solenoidda 120 V induksiya EYuK uyg'otilganda magnit oqimining o'zgarish tezligini toping.
- 8.10. 75 ta o'rami bo'lgan konturda magnit maydon oqimi $4,8 \cdot 10^{-3}$ Wb. Konturda induksiya EYuKi 0,74 V bo'lishi uchun qancha vaqtdan so'ng bu oqim yo'q bo'lishi kerak?
- 8.11. Aktiv uzunligi 15 sm bo'lgan o'tkazgich 10 ms tezlik bilan induksiyasi 2,0 T bo'lgan bir jinsli magnit maydon induksiya chiziqlariga perpendikulyar ravishda harakatlanmoqda. Agar o'tkazgichni qisqa tutashtirilsa, unda qanday tok kuchi hosil bo'ladi? Zanjirning qarshiligi 0,5 Om.
- 8.12. Aktiv uzunligi 0,7 m bo'lgan to'g'ri chiziqli o'tkazgich 300 burchak ostida bir jinsli magnit maydonni 10 ms tezlik bilan kesib o'tadi. Agar o'tkazgichda induksiyalangan EYuK 4,9 V ga teng bo'lsa, magnit maydon induksiyasini aniqlang.
- 8.13. Agar samolyot qanotining qulochi 36,5 m. Yerning magnit maydon kuchlanganligining vertikal tashkil etuvchisi esa 40 Am bo'lsa, 900 kmh tezlik bilan gorizontaal harakatlanayotgan samolyot qanotlari uchida hosil bo'luvchi induksiya EYuK ni aniqlang.
- 8.14. Elektromagnit havoda qutblarida kuchlanganligi 4-105 Am bo'lgan magnit maydon hosil qiladi. Maydonni bir jinsli deb hisoblab, agar magnit maydon induksiyasi va tezlik vektorlari orasidagi burchak 900 bo'lsa, unda 1 V ga teng bo'lgan induksiya EYUK yuzaga kelishi uchun aktiv uzunligi 10 sm bo'lgan o'tkazgichni qanday eng kichik tezlik bilan harakatlantirish kerak?
- 8.15. Berk konturni kesib o'tuvchi 30 mVb magnit oqimi $1,5 \cdot 10^{-2}$ s davomida nolgacha kamayadi. Konturda yuzaga keluvchi induksiya EYuK va tok kuchining o'rtacha qiymatini aniqlang. Konturning qarshiligi 4 Om.
- 8.16. To'g'ri o'tkazgich induksiyasi 6 mT bo'lgan bir jinsli magnit maydonda 4 ms tezlik bilan harakatlanadi. Agar o'tkazgich uchlarida $3,6 \cdot 10^{-4}$ V potentsiallar farqi hosil

bo'lsa, o'tkazgich maydon yo'nalishiga nisbatan qanday burchak ostida harakatlanadi?
O'tkazgich uzunligi 3 sm.

8.17. Solenoid ko'ndalang kesimining yuzi 80 sm^2 bo'lgan 200 ta o'ramga ega. Solenoid ichidagi magnit maydon induktsiyasi 0,1 s davomida 2 dan 6 T gacha ortadi. Solenoid cho'lg'amida hosil bo'lgan induksiya EYuK ning o'rtacha qiymatini aniqlang.

8.18. Agar g'altak 1000 o'ramga ega bo'lganda, unda 120 V induksiya EYuK hosil bo'lsa, uning ichida magnit oqimi 0,05 s davomida qanchaga o'zgaradi?

8.19. Induktivligi 0,5 H bo'lgan g'altakdagi tok kuchi 10-3 s ichida 0,2 A ga kamayganda, unda hosil bo'luvchi o'zinduksiya EYuK ni aniqlang.

8.20. Induktivligi 1 H bo'lgan g'altak 20 V kuchlanish manbaiga ulanadi. Unda tok kuchi 30 A ga yetadigan vaqtni aniqlang.

8.21. Konturning induktivligi 40 mH. Agar tok kuchi 0,01 s ichida 0,2 A ga o'zgarsa, konturda hosil bo'luvchi o'zinduksiya EYuK qanchaga teng? Bunda magnit oqimi qanchaga o'zgaradi?

8.22. Konturning induktivligi 0,05 H. Agar konturdagi tok kuchi 8 A bo'lsa, undan o'tuvchi magnit oqimi qanchaga teng?

8.23. 0,04 s da tok kuchi 0,2 A ga kamayganda 0,5 V o'zinduksiya EYuK hosil bo'luvchi g'altakning induktivligini aniqlang.

8.24. Solenoidning induktivligini orttirish uchun nima qilish kerak?

8.25. 0,14 Wb magnit oqimi induktivligi 0,02 H bo'lgan konturni kesib o'tadi. Konturdan o'tuvchi tok kuchini aniqlang.

8.26. 40 mH induktivlikka ega bo'lgan g'altakda qanday tok kuchida magnit maydon energisi 0,15 j ga teng bo'ladi?

8.27. Induktivligi 0,6 H bo'lgan g'altakda tok kuchi 20 A ga teng. Bu g'altak magnit maydonining energiyasi qanday? Agar tok kuchi ikki marta kamaysa, maydonning energiyasi qanday o'zgaradi?

8.28. Maydonning energiyasi 1 J ga teng bo'lishi uchun induktivligi 0,5 H bo'lgan drossel cho'lg'amidagi tok kuchi qancha bo'lishi lozim?

8.29. Solenoidda tok kuchi 10 A bo'lganda 0,5 Wb magnit oqim hosil bo'ladi. Shu solenoid magnit maydonining energiyasini toping.

8.30. Induktivligi 0,5 H bo'lgan g'altak orqali o'tayotgan tok kuchi 2 marta orttirilganda magnit maydon energiyasi 3 J ortdi. Tok kuchining va maydon energiyasining boshlang'ich qiymatlarini toping.

8.31. Uzunligi 50 sm va ko'ndalang kesim yuzi 2 sm² bo'lgan solenoid $2 \cdot 10^{-7}$ H induktivlikka ega. Solenoid ichiga temir o'zak kiritilgandagi magnit maydon energiyasining zichligi 10^{-3} Jm⁻³ bo'lishi uchun solenoiddan qancha tok o'tishi kerak? Shu sharoitdagi o'zak materialining magnit singdiruvchanligi 400 ga teng.

8.32. Uzunligi 60 sm va ko'ndalang kesim yuzi 4 sm² bo'lgan solenoidning induktivligi $4 \cdot 10^{-7}$ H ga teng. Solenoiddan o'tayotgan tok kuchi 1,55 A. Solenoid ichidagi magnit maydon energiyasining hajmiy zichligini toping.

10-§. Moddalarning magnit xususiyatlari

Reja:

1. Moddadagi magnit maydon.
2. Magnetiklarning turlari.
3. Ferromagnetiklar va gisterezis hodisasi.

Mavzular mazmuni: Moddalarning magnit xususiyatlari. Moddadagi magnit maydon. Molekulyar toklar. Magnitlanish vektori. Muhitlardagi magnit maydon uchun to'la tok qonuni. Magnetiklarning turlari. Diamagnetiklar. Paramagnetiklar. Ferromagnetiklar va gisterezis hodisasi.

Tayanch iboralar: magnit maydon, magnetiklar, diamagnetiklar, paramagnetiklar, ferromagnetiklar va gisterezis hodisasi, siljish toki.

MAGNIT MAYDON. MAGNIT MAYDONNI TAVSIFLOVCHI KATTALIKLAR
Siz magnitlar bir-birini va temir buyumlarni tortishiini bilasiz.

Magnitlarni odamlar qadim zamonlarda ham bilishgan. "Magnit" so'zi Kichik Osiyodagi qadimiy Magnesiya shahri nomidan kelib chiqqan. Bu yerda topilgan temirni tortuvchi toshni "magnesiya toshi" deb atashgan.

Buyuk yurtdoshimiz Abu Rayhon Beruniy (973-1047) o'z asarlarida magnitni "ohanrabo" - "temimi tortuvchi" deb atagan. Beruniy qum aralash oltin zarralari orasidan temir zarralarini ajratib olishda magnitdan foydalanilishi haqida yozib qoldirgan. U magnitning bir xil nomli qutblari o'zaro itarilishi, turli qutblari esa tortilishL magnitga ishqalangan po'lat ham magnitlanib qolishini tajriba orqali asoslab bergan.

Hozirgi paytda elektrotexnika va radiotexnikada, asosan, sun'iy magnitlar qo'laniladi. Tabiiy magnit uzoq vaqt ta'sir ettirilganda magnitlangan po'lat bo'laklari sun'iy magnitlar deb ataladi. Sun'iy magnitlarning xossalari tabiiy magnitlarning xossalari kabi bo'ladi. Tabiiy va sun'iy magnitlarning barchasi doimiy magnitlardir. O'zining magnitlangan holatini uzoq vaqt yo'qotmaydigan jism doimiy magnit yoki oddiygina qilib magnit deb ataladi. Ingliz shifokori Uilyam Gilbert (1544-1603) doimiy magnitlarning xossalarini o'rganish bo'yicha tadqiqotlar olib borgan. Gilbert 1600-yilda nashr etilgan "Magnit, magnit jismlar va ulkan magnit" - Yer haqida nomli kitobida magnitlarning quyidagi xossalarini bayon qilgan:

Zaryadlangan jismlar atrofida elektr maydon bo'lishini, bu jismlar shu maydon orqali o'zaro ta'sirlashishini bilasiz.

Magnitlar bir-biri bilan qanday ta'sirlashadi?

Yupqa oynaning ustiga temir qirindilarini sohib, uni taqasimon magnit uchlari ustiga qo'yaylik. Oyna chekkasini qalam bilan sekin urib turaylik. Bunda qirindilarning magnit uchlari atrofida ma'lum chiziqlar bo'ylab joylashishi kuzatiladi. Magnit atrofida maydon mavjuddir. Bu maydon magnit maydon deb ataladi. Magnit maydonda temir qirindilari joylashgan chiziqlar magnit kuch chiziqlarini bildiradi.

Agar magnit kuch chiziqlari bo'ylab bir nechta magnit strelkachalar qo'yilsa, ular ko'rsatilgandek joylashadi. Bunda strelkachalarning janubiy qutblari magnitning shimoliy qutbiga qarab qoladi.

Magnitlarning janubiy qutbi S harfi (inglizcha «souts» - «janub» so'zining bosh harfi) bilan, shimoliy qutbi N harfi (inglizcha «nourts» - «shimob» so'zining bosh harfi) bilan belgilanadi. Magnit kuch chiziqlarining yohialishi sifatida N qutbdan S qutb tomon yo'nalishi qabul qilingan.

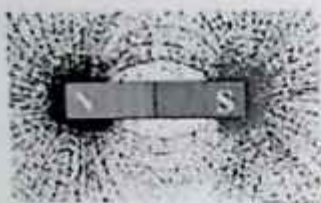
Agar ikkita magnitning bir xil qutblarini yaqinlashtirsak, ular bir-biridan itariladi. Turli qutblarni yaqinlashtirganimizda esa, ular bir-biriga tortiladi.

Magnitlar orasiga temir plastina qo'yilsa, ular bir-biriga ta'sir ko'rsatmaydi. Chunki, temir material magnit maydonni to'sadi. Lekin mis, aluminiy, shisha, plastmassa kabi materiallar magnit maydonni to'smaydi.

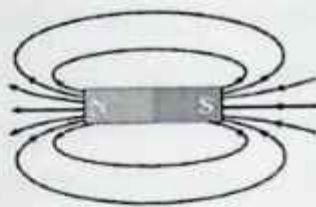
Ikkita magnit strelkasi bir-biriga yaqinlashtirilsa, ularning ikkalasi ham burilib, qarama-qarshi qutblari bir-biriga ro'para kelib to'xtaydi. Bu hol magnitlangan jismlar orasida o'zaro ta'sir kuchlari mavjudligini anglatadi. Ta'sir kuchlari esa, maydon kuch chiziqlari orqali tafsiflanadi.

Magnit maydon kuch chiziqlarini to'g'ridan to'g'ri ko'ra olmaymiz. Ammo, quyidagi tajriba yordamida biz magnit kuch chiziqlarining joylashuvi (yo'nalishi) haqida tasavvurga ega bo'la olamiz. Buning uchun karton qog'ozga temir kukunlarini bir tekis sepib, uni yassi magnit o'zagining ustiga qo'yamiz. Qog'oz varag'ini bir-ikki chertib yuborsak, temir kukunlari a-rasmda keltirilgan ko'rinishni egallaydi. Karton ustidagi temir kukunlari magnit uchlariga yaqin joylarda zich, qutblar orasida siyrakroq joylashganligini ko'rish mumkin. a-rasmdagi temir kukunlarining egallagan o'rni, magnit qutblarini bir-biriga bog'lovchi kuch chiziqlarini o'zida aks ettiradi. Magnit maydon kuch chiziqlarining yo'nalishi shartli ravishda magnitning shimoliy qutbidan chiqib, uning janubiy qutbiga kiruvchi yopiq chiziqlardan iborat deb qabul qilingan (b rasm). Kuch chiziqlari berk (yopiq) bo'lgan maydonlar uyurmaviy maydonlar deyiladi. Demak, magnit maydon uyurmaviy maydon ekan. Shu xususiyati bilan magnit maydon kuch chiziqlari elektr maydon kuch chiziqlaridan farq qiladi.

Magnit maydonning chiziqlari kuch xarakteristikasini tafsiflovchi fizik kattalik magnit maydon induksiyasi deb ataladi. Magnit maydon induksiyasi vektor kattalik bo'lib, u B harfi bilan belgilanadi.



a



b

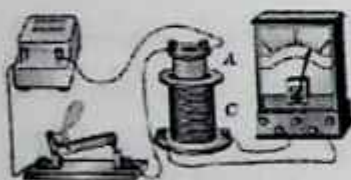
10.1-Rasm uyurmaviy maydonlar

Magnit maydon induksiyasining birligi qilib XBSda Serbiya fizigi Nikola Teslaning sharafiga Tesla (T) deb atash qabul qilingan

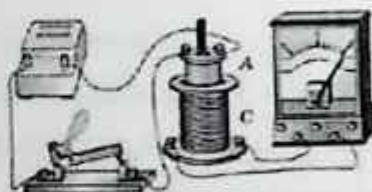
MODDALARNING MAGNIT XOSSALARI

Ko'pgina (masalan, temir, nikel, kobalt kabi) moddalar magnit maydonga kiritilganda yoki ulardan tok o'tganda magnitlanib qolishi kuzatiladi. Ular magnit kabi atrofida magnit maydonni hosil qiladi. Magnit maydon ta'sirida magnitlanib qoladigan bunday moddalarga magnetiklar deyiladi.

Biz mavzuda g'altak ichida hosil bo'lgan magnit maydon g'altakdan o'tayotgan tok kuchiga proporsional ekanligini ko'rib o'tganmiz. G'altak ichidagi magnit maydonni baholash maqsadida quyidagi namoyish tajribasini o'tkazish mumkin. Namoyish qurilmaning umumiy ko'rinishi a rasmda keltirilgan. Namoyish qurilmasi tok manbayi, ikkita g'altak, turli moddadan yasalgan o'zaklar, ampermetr va kalitdan iborat.



a

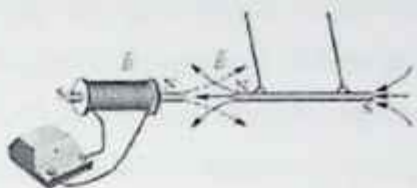


b

10.2-Rasm Magnit maydon ta'sirida magnitlanib qolish

G'altakka kuchlanishni o'zgartirmasdan, uning ichiga navbatm a-navbat turli xil tabiatli metall o'zaklar kiritilib tajriba takrorlansa, uning ichidagi magnit maydon induksiyasining ham turlicha o'zgarishi tafayli galvanometr strelkasi og'ishining turlicha o'zgarishini ko'ramiz (b rasm).

G'altak ichida hosil bo'layotgan magnit maydon induksiyasi unga kiritilgan moddaning tabiatiga bog'liq ekan, ya'ni: $B = \mu \cdot B_0$. Demak, tokli g'ltakning biror muhitda hosil qilgan magnit



10.3-Rasm G'altak ichida

hosil bo'layotgan magnit maydon maydonining induksiyasi (B), uning vakuumda hosil qilgan magnit maydon induksiyasi (B_0) ga to'g'ri proporsional bo'lib, muhitning turi (μ) ga ham bo'liq bo'ladi. Ifodadan μ ni topsak:

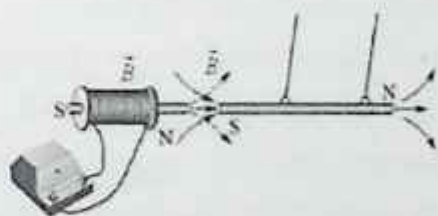
$$\mu = \frac{B}{B_0} \text{ Bu tenglikdagi } \mu -$$

muhitning magnit singdiruvchanligi deb ataladi. U faqat muhitning tabiatiga bog'liq bo'lib, muhitdagi maydon induksiyasi, vakuumdagi magnit maydon induksiyasidan necha marta farq qilishini bildiradi.

Tabiatda uchraydigan barcha moddalar magnit singdiruvchanligiga qarab uch turga bo'linadi. Bular: diamagnetiklar, paramagnetiklar va ferromagnetiklar.

Diamagnetiklar. Magnit singdiruvchanligi birdan kichik ($\mu < 1$) bo'lgan moddalarga diamagnetiklar deyiladi. Suv, marmar, oltin, kumush, mis, rux, simob va ba'zi inert gazlar diamagnetiklardir. Magnit maydoniga kiritilgan diamagnetiklar uni susaytiradi. Bunday moddalarga magnit maydoni yaqinlashtirilganda maydondan uzoqlashadi.

Diamagnetiklarning ko'pchilik atomlari xususiy magnit momentlariga ega bo'lmay, ularning magnit momentlari tashqi magnit maydon ta'sirida vujudga keladi. Bu jarayon qutublangan dielektrlarda elektr momenti bujudga kelish jarayoniga o'xshaydi.



10.4-Rasm Diamagnetiklar.

Vujudga keladigan magnit maydon induksion tashqi maydon B_0 ga proporsional ekanligini hisobga olib: $\vec{B} = \mu \vec{B}_0$

Bu yerda diamagnetiklar uchun $\mu < 1$, chunki tashqi maydon ta'sirida vujudga kelgan mikrotokning magnit momenti tashqimaydonni kuchsizlantirish tomonga yo'nalgan bo'ladi. Diamagnetiklarning xususiyatlari temperaturaga bog'liq

emas, chunki atomlarning issiqlik harakatlari qtom ichida vujudga kelgan taok ta'sirlarini buza olmaydi. Diamagnit effekt barcha moddalarga xos xususiyatdir.

Paramagnetiklar. Magnit singdiruvchanligi birdan biroz katta ($\mu > 1$) bo'lgan moddalar paramagnetiklar deyiladi. Paramagnetiklarning molekulalari noldan farqli xususiy magnit momentlarga ega. Magnit maydon bo'lmaganda bu momentlar betartib joylashgan bo'lib, jismning magnitlanish vektori nolga teng bo'ladi.

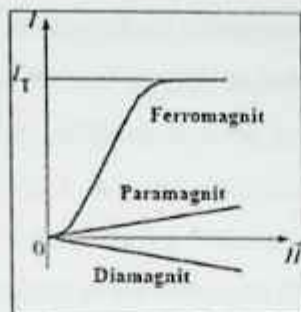
Paramagnet tashqi maydonga kiritilganda alohida atomlar va molekulalarning magnit momentlari maydon bo'lib joylashib qoladi. Natijada paramagnetiklarning xususiy maydoni tashqi magnit maydonni kuchaytiradi, ya'ni tashqi magnit maydonning kuchayishi po'y beradi: $\mu > 1$.

Paramagnetiklarning magnitlash temperaturaga bo'liq bo'ladi va temperatura ortishi bilan magnit singdiruvchanligi yomnlashadi. Bunga magnit momentlarning tashqi maydon ta'sirida egallagan o'zaro joylashuvlarining buzilishidir. Ularning magnit singdiruvchanligi, diamagnetikniki kabi tashqi magnit maydon induksiyasiga bog'liq emas.

Paramagnetiklarga kislorod, platina, alyuminiy, xrom, marganes, kislorod, va ishqor hosil qiladigan metallar kiradi. Magnit maydonga kiritilgan paramagnetiklar maydonni qisman kuchaytiradi.

Ferromagnetiklar. Magnit singdiruvchanligi birdan juda katta ($\mu \gg 1$) bo'lgan moddalar ferromagnetiklar deyiladi.

Ferromagnetizm – paramagnetizmning chegara holi hisoblanadi. Ferromagnetiklar – kuchli magnetiklar hisoblanib, o'z – o'zidan magnitlanib qolishi mumkin. hattoki tashqi magnit maydon bo'lmagan holda ham ular magnitlanish qobiliyatiga era bo'ladilar. Ularning yana bir alohida xususiyati magnitlanishning tashqi magnit maydonga bog'liqligining murakkab xarakterga ega ekanidir.



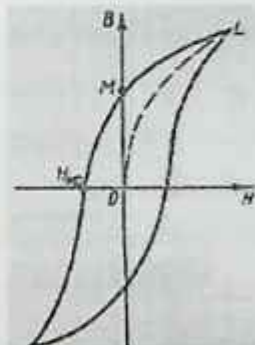
10.5-rasm. Ferromagnetizm

Agar diamagnetik va paramagnetiklar uchun magnitlanishning tashqi maydon kuchlanganligiga bog'liqligi chiziqli bo'sa, ferromagnitlar uchun ancha murakkab. Dastlab magnitlanish tez ortadi,

so'ng sekinlashib ma'lum qiymatga ega bo'landan so'ng o'zgarmay qoladi. Magnitlanishning bu qiymatiga to'yinish qiymati deyiladi.

Temir, nikel, kobalt va ularning ba'zi qotishmalari ferromagnetiklardir. Magnit maydonga kiritilgan ferromagnetiklar uni kuchaytiradi. Bunday moddalardan yasalgan jismlarni magnit maydoniga kiritilganda maydonga yaqinlashadi. Ferromagnetiklar tabiatda uncha ko'p bo'lmasa-da, ular hozirgi zamon texnikasida keng qo'llaniladi.

Masalan, transformator, tok generatori, elektrodvigatel va boshqa qurilmalarning o'zaklari ferromagnit materiallardan yasaladi. Keyingi paytlarda doimiy magnitlar tibbiyotda ham keng qo'llanilib kelmoqda. Ulardan qon bosimini pasaytiruvchi moslama sifatida qo'lga taqiladigan bilaguzuk tayyorlanmoqda.



9.6- Gisterezis.

Gisterezis. Ferromagnitlarning magnit sigdiruvchanligi μ tashqi maydon kuchlanganligi (H) ga bog'liq. Magnit induksiya vektori B va H orasidagi bog'lanishini ko'raylik. Magnitlanishda ferromagnit ichidagi magnit maydoni O dan H ning ma'lum qiymatigacha ortib boradi. Ferromagnit induksiya qiymatining o'zgarishi OL chiziq bilan xarakterlanadi. Agar H kamaysa,

induksiyaning kamayishi LM chiziq bilan ifodalanadi. $H=0$ bo'lganda ham induksiya noldan farqli bo'ladi. Qoldiq magnitlanishni yo'qotish uchun esa oldingisiga teskari yo'nalishda maydon qo'yish kerak bo'ladi. Maydon kuchlanganligining $B=0$ dagi qiymati tutuvchi yoki koersitiv kuch H_{kr} deyiladi. Maydon o'zgarishi bilan induksiya ham o'zgaradi. Magnitsizlanishda induksiya ferromagnetikni magnitlashdagi o'sishiga qaraganda sekinroq kamayadi. Bu hodisa magnit gistarezis (kechikish) deb ataladi. Hosil bo'lgan chiziqqa gisterezis deyiladi. Ferromagnetni o'zgaruvchan magnit maydon bilan davriy ravishda qayta magnitlaganda, induksiya egri chizig'i gistarezis sirtmog'i deb ataluvchi berk egrichiziq hosil bo'ladi.

Koersitiv (H_{kr}) kuchlarning qiymatiga qarab ferromagnetlar yumshoq va qattiq ferromagnetlarga bo'linadi.

Yumshoq ferromagnetlar uchun gistorezis sirtmog'i ingichka va koersitiv kuchlarning qiymati kichik bo'ladi. Ularga: temir, permalay va boshqalar misol bo'ladi. Yumshoq ferromagnetlardan transformator, generator, elektrodvigatel-larning o'zaklari yasaladi. Qattiq ferromagnetlar uchun gistorezis sirtmog'i keng va koersitiv kuchlarning qiymatlari ham katta bo'ladi. Bularga po'larva ularning qotishmalari kirib, odatda ulardan doimiy magnetlar tayyorlanadi.

Gistorezisning sirtmog'i yuzasi ferromagnetikni magnitlash uchun bajarish kerak bo'lgan ishni xarakterlaydi.

Nazorat savollari

1. Berk kontur yuzini kesib o'tuvchi magnit oqimi vaqt o'tishi bilan o'zgarsa konturda elektr toki hosil bo'ladi. Bu qanday tok.
2. Bu jarayonga qanday hodisa deyiladi.
3. Elektromagnet induksiyasi qonuni nimadan iborat?
4. Magnit oqimining o'zgarish tezligi debnimaga aytiladi.
5. Agar tashqi maydon oqimi ortayotgan bo'lsa induksion tokning oqimi uni kamaytirishga intiladi, agar kamayotgan bo'lsa uni qanday oshirish mumkin.
6. O'ramlar soni N ta bo'lgan o'altakda vujudga keluvchi induksion .
7. Magnit oqimining o'zgarish tezligi $\Delta\Phi/\Delta t$ bo'yicha g'altakdagi o'ramlar sonini qanday topiladi.

8. Bir jinsli magnit maydonda x tezlik bilan harakatlanayotgan l uzunlikdagi o'tkazgichda yuzaga keluvchi kuch nima

9. O'zinduksion E.Y.K nima

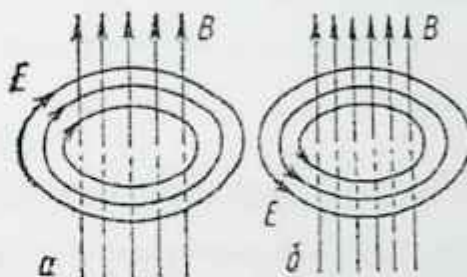
10. $\mu \leq 1$ nimani ifodalaydi.

11-§. Elektromagnit maydon uchun maksvell tenglamalari.

Reja:

1. Moddadagi magnit maydon.
2. Magnetiklarning turlari.
3. Elektromagnit maydon uchun

Maksvell tenglamalari. Elektromagnit maydon uchun Maksvell tenglamalari. Elektromagnit induksiya hodisasining Faradey-Maksvell talqini. Uyurmaviy elektr maydon. Siljish toki. Maksvell tenglamalari tizimining integral va differentsial



ko'rinishi. Tayanch iboralar: elektromagnit, 11.1-Rasm. Elektromagnit maydon induksiya, maydon, siljish toki, integral va differentsial. Uyurmaviy elektr maydon va uning magnit maydon bilan bog'lanishi.

Magnit maydonda harakatlanayotgan to'g'ri o'tkazgichda induksiya EYuK hosil bo'lishi Lorens kuchining harakatchan zaryad tashuvchilariga ta'sir etishidir. Biroq bunday usul bilan birlamchi zanjir ikkilamchizanjirga nisbatan tinch turganda, ikkilamchi zanjirda induksion EYuK hosil bo'lishi tajribalarda tushuntirish mumkin bo'lmadi, chunki tinch turgan zaryadlarga magnit maydon ta'sir etmaydi. Tinch turgan zaryadga elektr maydon ta'sir etadi. Ikkilamchi zanjirda shu maydon induksion tok hosil qilmasmikan? Agar shunday bolsa, bu elektr maydon qayerdan paydo bo'ldi. Bu holni o'zgaruvchan magnit maydon berk o'tkazgichda induksion tok uyg'otadiganelektr maydon hosil qila olishi bilan tushunish mumkin. Elektromagnit induksiya hodisasini bunday talqinini birinchi bo'lib J Maksvell taklif etgan.

Bu g'oya rivojlantirilib, u keyinchalik ko'p tajribalarda tasdiqlangan elektromagnit maydon nazariyasini yaratdi. Maksvell nazariyasiga ko'ra magnit maydon o'zgarayotgan fazoda unda modda bo'lish –bo'lmasligidan qat'iy nazar, albatta, berk induksiya chiziqli elektr maydon hosil bo'ladi. Rasmda to'g'ri chiziqlar B induksiyali o'zgaruvchan ortuvchi (a) kamayuvchi (b) magnit maydoni, berk chiziqlar esa hosil bo'lgan E kuchlanganlikli elektrmaydonini tasvirlaydi. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, magnit maydon kuchlanganlik (induksiyasi) vektori fazoning har bir nuqtasida o'zi hosil qilgan elektr maydon kuchlanganlik vektoriga perpendikulyardir.

Agar o'tkazgich yopiq bo'lsa, unda induksiyaviy tok hosil bo'ladi. O'tkazgichda induksiya hisobiga hosil bo'lgan EYuK kattaligi shu o'zkazgichni kesib o'tuvchi magnit induksiyasi oqimining o'zgarish tezligiga proporsionaldir:

$$\varepsilon_v = -\frac{d\Phi}{dt}, \quad (10.1)$$

Bu ifoda Faradey-Maksvell qonuni deb ataladi.

Elektromagnit induksiya qonunini energiyaning saqlanish qonuniga asoslanib keltirib chiqarish mumkin. ℓ uzunlikdagi o'tkazgich qisqa vaqt ichida, magnit maydon ta'sirida, db kichik masofaga siljigan bo'lsin. Bu holda tok manbai bajargan ish

$$dA = \varepsilon \ell \cdot dt, \quad (10.2)$$

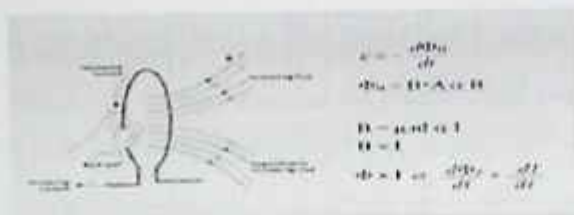
ga teng bo'ladi. Boshqa tarafdin, sarflangan energiya ikki qismdan iborat bo'ladi.

a) Djoul-Lents qonuniga asosan o'zkazgichda issiqlik ajralishiga

$$I^2 R \cdot dt, \quad (10.3)$$

va b) magnit maydonida $F = I\ell B$ kuch ta'sirida o'tkazgichni siljitishda bajarilgan ishdan iborat bo'ladi.

$$F \cdot db = I\ell \cdot db \cdot B = I \cdot B \cdot dS = I \cdot d\Phi, \quad (10.4)$$



11.2-rasm. Faradey-Maksvell qonuni

bu yerda R - zanjir qarshiligi. Energiyaning saqlanish qonuniga asosan

$$\varepsilon \cdot I \cdot dt = RI^2 \cdot dt + I \cdot d\Phi, \quad (10.5)$$

bu ifodaning ikki tarafini Idt ga bo'lsak,

$$\varepsilon = RI + \frac{d\Phi}{dt}, \quad (10.6)$$

ga ega bo'lamiz. Bu erdan

$$I = \frac{\varepsilon - \frac{d\Phi}{dt}}{R} = \frac{\varepsilon + \varepsilon_U}{R}, \quad (10.7)$$

Manbaning EYuK dan tashqari induksiyaviy EYuK deb ataluvchi qo'shimcha EYuK ham ta'sir etadi:

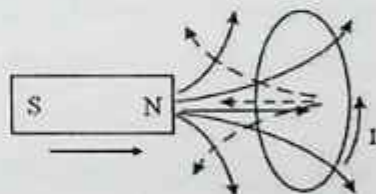
$$\varepsilon_U = -\frac{d\Phi}{dt}, \quad (10.8)$$

va yana (1) - ifodaga ega bo'ldik.

Shuningdek, ifoda B , A nuqta, magnit oqim kuchiga proporsional deb xulosa qilsak bo'ladi.

Bu erda minus ishora, yopiq zanjirni kesib o'tuvchi $\left(\frac{d\Phi}{dt} > 0\right)$ oqim ortishi bilan induksiyaviy EYuK manba EYuK ga teskari

yo'nalgan bo'ladi, oqim kamayganda $\left(\frac{d\Phi}{dt} < 0\right)$ ikkala EYuK larning yo'nalishlari bir xil bo'ladi.



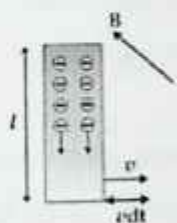
Lents qoidasiga asoslanib induksiyaviy **10.3 – rasm.EYuK yo'nalishi.**

EYuKning yo'nalishini aniqlash mumkin: induksiyaviy eYuK va tok doimo shunday yo'nalishga ega bo'ladiki, u hosil qilgan

magnit maydoni shu tokni vujudga keltiruvchi magnit oqimining o'zgarishiga qarshilik qiladi. Doimiy magnitning halqali o'tkazgichda induksiyaviy tokni hosil qilishi.

1-misol. O'tkazgichdan yasalgan halqaga magnitning shimoliy qutbini yaqinlashtirsak, halqada I induksiyaviy tok hosil bo'ladi, uning magnit maydoni magnitning shimoliy qutbini itarishga harakat qiladi, ya'ni uni yana

yaqinlashishiga to'sqinlik qiladi. Natijada, bu induksiyaviy tokning magnit kuch chiziqlari halqada o'ngdan chapga tomon yo'nalgan bo'ladi, ya'ni biz tarafda pastdan yuqoriga qarab yo'nalgandir.



2-misol. ℓ uzunlikdagi o'tkazgich, uning uzunligiga perpendikulyar

yo'nalishda u tezlik bilan harakatlansin. B induksiyali magnit maydon harakat yo'nalishi o'tkazgich uzunligiga perpendikulyar bo'lsin. O'tkazgichdagi e zaryadli erkin elektronlarning har biri o'tkazgich bilan u tezlikda harakatlanadi. Ularning har biriga $f = evB$ ga teng Lorents kuchi ta'sir qiladi. Fikran, Lorents kuchini unga teng $eE = evB$ elektr kuchi bilan almashtiramiz.

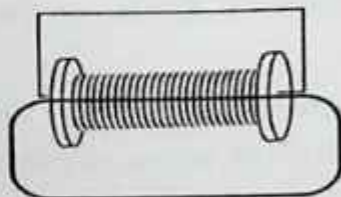
$E = v \cdot B$ kattalikni Lorents kuchi maydonining kuchlanganligi deb ataymiz. Bu kuchlanganlik xuddi o'tkazgichning ℓ uzunlikka teng kesmasiga

$$\Delta\varphi = E\ell = vB\ell$$

potentsiallar farqi qo'yilganday tasavvur etamiz va u induksiyaviy elektr yurituvchi

kuchga tengdir.
$$\mathcal{E}_v = -\frac{d\Phi}{dt} = -vB\ell$$

rasm. Harakat yo'nalishiga perpendikulyar bo'lgan magnit maydonining o'tkazgich elektronlariga ta'siri. Shunday qilib, o'tkazgichda harakat qilayotgan erkin elektronlarga Lorents kuchining ta'siri (1) - ifodasiga olib keladi.



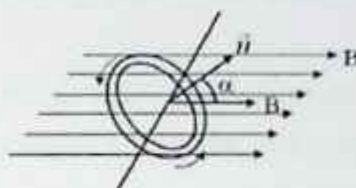
Agar yopiq zanjir N - ta o'ramlardan iborat bo'lsa va magnit oqimining kuch chiziqlarining har biri shu o'ramlarni kesib o'tsa (10.4 - rasm), u holda bu oqimning

o'zgarishi, zanjirda induksiyaviy eYuK ni hosil qiladi:

$$\varepsilon_U = -N \frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d\psi}{dt}, \quad (10.9)$$

bu erda $\psi = H\Phi$ -oqim tutilishi deb ataladi.

rasm. N ta o'ramlardan iborat yopiq zanjir.



Kuch chiziqlariga perpendikulyar bo'lgan o'q atrofida, V induksiyali bir jinsli magnit maydonida (doimiy burchak tezlik bilan aylanayotgan, har bir S yuzaga ega bo'lgan N o'ramlardan iborat ramkaning elektromagnit induksiyasini ko'rib chiqamiz.

rasm. V induksiyali magnit maydonida aylanayotgan N o'ramli ramka.



Boshlang'ich momentda ($\tau = 0$), ramka tekisligi B yo'nalishga perpendikulyar bo'lsin.

11.4-Rasm. Ramkada magnit oqimining tutilishi

Bu ramkani kesib o'tuvchi magnit oqimi $\Phi_0 = BS$ dan borat. t momentda esa, u $\Phi = BS \cdot \cos \alpha$ ga teng bo'ladi. Chulg'amni bursak, chulg'amdan o'tuvchi magnit oqimi kamayadi.

$$\psi = NBS \cdot \cos \alpha$$

ga teng. Induksiyaviy EYuK esa, quyidagiga teng bo'ladi:

$$\varepsilon_U = \frac{d\psi}{dt} = NBS \cdot \omega \cdot \sin \omega t = \varepsilon_0 \sin \omega t$$

Zanjir qarshiligi R bo'lsa, ramkadagi induksiyaviy tok

$$I = \frac{\varepsilon_0}{R} \sin \omega t = I_0 \cdot \sin \omega t, \quad (10.10)$$

ga teng bo'ladi. Bu erda, ω va I_0 – induksiyaviy eYuK va tokning maksimal qiymatlaridir. (10) - ifoda bo'yicha o'zgaruvchi tok, sinusoidal o'zgaruvchan tok deb ataladi.

Magnit oqimi tutilishi e1 dan e2 qiymatgacha o'zgarishi uchun ketgan vaqtda zanjir orqali oqib o'tgan Q zaryad miqdorini hisoblab ko'ramiz:

$$I = \frac{\varepsilon_0}{R} = -\frac{I}{R} \frac{d\psi}{dt}$$

t - vaqt momentida induksiyaviy tok
ga teng. dt kichik vaqt ichida zanjir orqali dQ zaryad oqib o'tadi:

$$dQ = -\frac{I}{R} \frac{d\psi}{dt} \cdot dt = -\frac{I}{R} d\psi, \quad (10.11)$$

e1 dan e2 gacha intervalda (11) - ifodani integrallasak quyidagiga ega bo'lamiz:

$$Q = -\frac{I}{R} \int_{\psi_1}^{\psi_2} d\psi = -\frac{I}{R} (\psi_2 - \psi_1), \quad (10.12)$$

Magnit maydonining o'zgarishi hisobiga hosil bo'lgan elektr maydon kuch chiziqlari magnit kuch chiziqlarini chirmab oladi.

B induksiya vaqt bo'yicha o'zgargani uchun $\frac{\partial B}{\partial t} \neq 0$,

$\vec{E}$ tsirkulyatsiya vektori, elektrostatik maydon induksiya vektoridan farqli ravishda nolga teng emas.

Shuning uchun bunday elektr maydoni potentsial maydon emas, u uyurmali bo'ladi va bunday maydon nuqtalarida potentsial bir xil qiymatga ega bo'lmaydi. Kuch chiziqlarini boshi va oxiri bo'lmay, ular yopiq chiziqlardan iborat bo'ladi.

Sinov savollar

1. Muxitning magnit singdiruvchanligiga ta'rif bering
2. Magnetiklar va ularning turlari ayting
3. Diamagnetik, paramagnetik, ferromagnetiklarni ifodalang
4. Diamagnetik effekt xodisasini tushintiring
5. Paramagnetik effekt xodisasini tushintiring
6. Gisterezis nazariyasi tushintiring
7. Domenlar nazariyasi tushintiring

12-§. Elektromagnit tebranishlar va to'lqinlar

Reja:

1. Tebranish konturidagi fizik jarayonlar.
2. Elektromagnit tebranishlar.
3. Elektromagnit to'lqinlar.

Mavzular mazmuni: Elektromagnit tebranishlar. Tebranish konturidagi fizik jarayonlar. Tomson formulasi. Majburiy elektr tebranish tenglamasi. Majburiy tebranish fazasi. Kuchlanish rezonansi. Tok rezonansi. O'zgaruvchan tok. O'zgaruvchan tok zanjirida qarshilik, sig'im va induktivlik. O'zgaruvchan tok quvvati. Quvvat koeffitsienti. Tok generatorlari.

Tayanch iboralar: tebranish konturi, Tomson formulasi, kuchlanish rezonansi, o'zgaruvchan tok, qarshilik, sig'im, induktivlik, tok generatorlari. Электромагнит тебранишлар. Elektromagnit tebranishni hosil qilishi uchun elektr maydon energiyasi magnit maydon energiyasiga aylanishi va aksincha bo'lishi mumkin bo'lgan zanjirga ega bo'lishi kerak. Bunday zanjirni tebranish konturi deb ataladi. Magnit maydon g'altakda, elektr maydon esa kondensatorda hosil bo'lgani uchun oddiy tebranish konturi induktivligi L bo'lgan g'altak va sig'imi C bo'lgan kondensatordan iborat. Tebranish konturi yasaladigan o'tkazgichlarning aktiv qarshiligi etarlicha kichik bo'lishi kerak, aks holda konturda elektromagnit tebranish vujudga kelmaydi. C kondensator va L induktivlikdan tashkil topgan yopiq elektr zanjirida yuz beradigan zaryad, kuchlanish va toklarning tebranishlarini kuzatamiz. Eng sodda tebranish konturi rasmda keltirilgan. Berk zanjirning qarshiligini hisobga olmaymiz. K kalitni 1 - holatga ulab, kondensatorni Uc potentsiallar farqigacha zaryadlaymiz. Keyin K kalitni 2 - holatga keltirib, yopiq zanjir hosil qilamiz. Boshlanishda energiyaning hammasi

$$W = \frac{CU^2}{2} \quad 11.1$$

kondensatorning elektr maydonida joylashgan bo'ladi.

Magnit oqimi tutilishi e1 dan e2 qiymatgacha o'zgarishi uchun ketgan vaqtda zanjir orqali oqib o'tgan Q zaryad miqdorini hisoblab ko'ramiz:

$$I = \frac{\varepsilon_0}{R} = -\frac{I}{R} \frac{d\psi}{dt}$$

t - vaqt momentida induksiyaviy tok
ga teng. dt kichik vaqt ichida zanjir orqali dQ zaryad oqib o'tadi:

$$dQ = -\frac{I}{R} \frac{d\psi}{dt} \cdot dt = -\frac{I}{R} d\psi, \quad (10.11)$$

e1 dan e2 gacha intervalda (11) - ifodani integrallasak quyidagiga ega bo'lamiz:

$$Q = -\frac{I}{R} \int_{\psi_1}^{\psi_2} d\psi = -\frac{I}{R} (\psi_2 - \psi_1), \quad (10.12)$$

Magnit maydonining o'zgarishi hisobiga hosil bo'lgan elektr maydon kuch chiziqlari magnit kuch chiziqlarini chirmab oladi.

B induksiya vaqt bo'yicha o'zgargani uchun $\frac{\partial B}{\partial t} \neq 0$,

$\vec{E}$ tsirkulyatsiya vektori, elektrostatik maydon induksiya vektoridan farqli ravishda nolga teng emas.

Shuning uchun bunday elektr maydoni potentsial maydon emas, u uyurmali bo'ladi va bunday maydon nuqtalarida potentsial bir xil qiymatga ega bo'lmaydi. Kuch chiziqlarini boshi va oxiri bo'lmay, ular yopiq chiziqlardan iborat bo'ladi.

Sinov savollar

1. Muxitning magnit singdiruvchanligiga ta'rif bering
2. Magnetiklar va ularning turlari ayting
3. Diamagnetik, paramagnetik, ferromagnetiklarni ifodalang
4. Diamagnetik effekt xodisasini tushintiring
5. Paramagnetik effekt xodisasini tushintiring
6. Gisterezis nazariyasi tushintiring
7. Domenlar nazariyasi tushintiring

12-§. Elektromagnit tebranishlar va to'lqinlar

Reja:

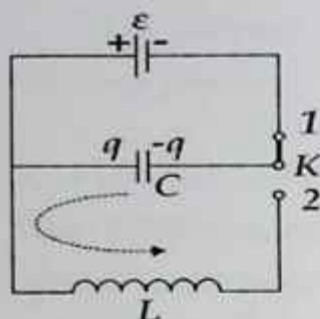
1. Tebranish konturidagi fizik jarayonlar.
2. Elektromagnit tebranishlar.
3. Elektromagnit to'lqinlar.

Mavzular mazmuni: Elektromagnit tebranishlar. Tebranish konturidagi fizik jarayonlar. Tomson formulasi. Majburiy elektr tebranish tenglamasi. Majburiy tebranish fazasi. Kuchlanish rezonansi. Tok rezonansi. O'zgaruvchan tok. O'zgaruvchan tok zanjirida qarshilik, sig'im va induktivlik. O'zgaruvchan tok quvvati. Quvvat koeffitsienti. Tok generatorlari.

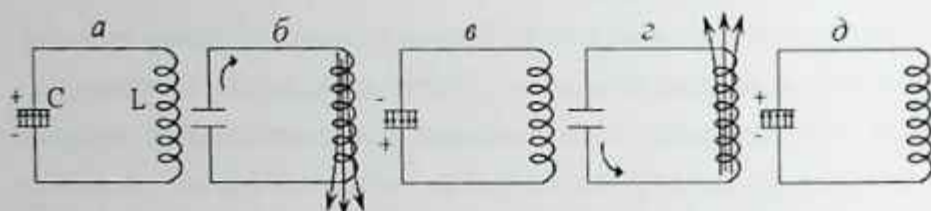
Tayanch iboralar: tebranish konturi, Tomson formulasi, kuchlanish rezonansi, o'zgaruvchan tok, qarshilik, sig'im, induktivlik, tok generatorlari. Электромагнит тебранишлар. Elektromagnit tebranishni hosil qilishi uchun elektr maydon energiyasi magnit maydon energiyasiga aylanishi va aksincha bo'lishi mumkin bo'lgan zanjirga ega bo'lishi kerak. Bunday zanjirni tebranish konturi deb ataladi. Magnit maydon g'altakda, elektr maydon esa kondensatorda hosil bo'lgani uchun oddiy tebranish konturi induktivligi L bo'lgan g'altak va sig'imi C bo'lgan kondensatordan iborat. Tebranish konturi yasaladigan o'tkazgichlarning aktiv qarshiligi etarlicha kichik bo'lishi kerak, aks holda konturda elektromagnit tebranish vujudga kelmaydi. C kondensator va L induktivlikdan tashkil topgan yopiq elektr zanjirida yuz beradigan zaryad, kuchlanish va toklarning tebranishlarini kuzatamiz. Eng sodda tebranish konturi rasmda keltirilgan. Berk zanjirning qarshiligini hisobga olmaymiz. K kalitni 1 - holatga ulab, kondensatorni Uc potentsiallar farqigacha zaryadlaymiz. Keyin K kalitni 2 - holatga keltirib, yopiq zanjir hosil qilamiz. Boshlanishda energiyaning hammasi

$$W = \frac{CU^2}{2} \quad 11.1$$

kondensatorning elektr maydonida joylashgan bo'ladi.



12.1-rasm. Eng sodda yopiq elektr zanjir.



12.2- rasm. Yopiq elektr zanjirida elektromagnit tebranishlar.

Keyin esa kondensator L induktivlik g'altagi orqali razryadlana boshlaydi va g'altak ichida magnit maydoni hosil bo'ladi. Kondensator to'la razryadlanganda zanjir orqali o'tayotgan tok maksimal qiymatga erishadi va barcha energiya g'altak ichidagi magnit maydoniga joylashgan bo'ladi:

$$W = \frac{LI^2}{2} = \frac{CU^2}{2} \quad 11.2$$

L induktivlik g'altak qarshiligi ortishi bilan tokning qiymati kamaya boshlaydi, natijada g'altakda o'zinduksiya elektr yurituvchi kuchi:

$$\mathcal{E}_{\text{oz}} = -L \frac{dI}{dt} \quad 11.3$$

paydo bo'ladi. Bu EYuK zanjirdan o'tayotgan tokni o'sha yo'nalishda tiklashga intiladi. Natijada C kondensator yana zaryadlanadi, ammo kondensator qoplamalarida zaryadlarning ishorasi avvalgi holatiga nisbatan teskari bo'ladi.

Zanjir bo'yicha tok yo'qolganda, C – kondensator to'la zaryadlanib bo'ladi va barcha energiya kondensator qoplamalari orasidagi elektr maydoniga joylashadi.

Undan keyin teskari yo'nalishda kondensator razryadlana boshlaydi va barcha energiya g'altak ichidagi teskari yo'nalishdagi magnit maydoniga o'tadi (g-rasm). Shunday qilib, zanjirdagi elektromagnit tebranish bitta to'la tebranish davridan o'tadi.

Kondensatordagi potentsiallar farqi: $U_c = \frac{Q}{C}$

ga tengdir. Kirxgofning II-qonunidan tebranish konturidagi elektromagnit tebranishning differentsial tenglamasini topamiz:

$$-L \frac{dI}{dt} = \frac{Q}{C} \quad \text{yoki} \quad \frac{dI}{dt} + \frac{1}{LC} Q = 0, \quad (11.4)$$

Bu tenglamaning yechimi siljish tenglamasi: $y = A \cdot \sin(\omega t + \varphi)$

ga o'xshashdir. Faqat "y" tebranuvchi kattalikni Q zaryadga, ω burchak tezlikni $\frac{1}{\sqrt{LC}}$ bilan almashtirsak, quyidagi ifodaga

$$Q = Q_0 \sin\left(\frac{1}{\sqrt{LC}} t + \varphi\right), \quad (11.5)$$

ega bo'lamiz. Kondensator qoplamalaridagi potentsiallar farqini quyidagicha ifodalash mumkin.

$$U_c = \frac{Q_0}{C} \sin\left(\frac{1}{\sqrt{LC}} t + \varphi\right), \quad (11.6)$$

(2) - ifodadan vaqt bo'yicha hosila olsak, tebranish konturidagi tokning vaqt bo'yicha garmonik tebranish ifodasiga ega bo'lamiz:

$$I = \frac{dQ}{dt} = \frac{Q_0}{\sqrt{LC}} \cos\left(\frac{1}{\sqrt{LC}} t + \varphi\right) = \frac{Q_0}{\sqrt{LC}} \sin\left(\frac{t}{\sqrt{LC}} + \varphi + \frac{\pi}{2}\right), \quad (11.7)$$

(2) -, (3) -, (4) - ifodalardan kondensator qoplamalaridagi potentsiallar farqi va kontur bo'yicha toklar o'zgarishi garmonik qonunlarga bo'ysunishi, ularning tebranish chastotalari bir xil qiymatga ega bo'lishi, kuchlanish va zaryadning fazalari bir xil ekanligi va tokning fazasidan $\pi/2$ qiymatga orqada qolishi ko'rinib turibdi.

Agar tsiklik chastota $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ ligini hisobga olsak, ideal konturning tebranish

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{LC} \quad (11.8)$$

davri quyidagiga teng bo'ladi:

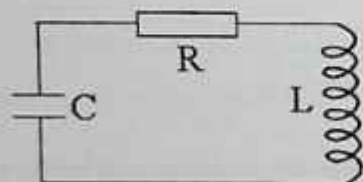
$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{LC}$$

Bu ifoda Tomson formulasi deb ataladi.

So'navchi elektromagnit tebranishlar. Vaqt o'tishi bilan tebranish tizimining energiyasi asta-sekin yo'qotilishiga bog'liq tebranishlar – so'navchi tebranishlar deb ataladi. Boshqacha qilib aytganda, energiya zahirasi muhitning qarshiligi, ishqalanish kuchlarini engishga sarf bo'ladi va tebranish so'na boshlaydi, tebranish amplitudasi asta-sekin kamaya boradi. Bu hollarda erkin so'navchi tebranma harakatlar kuzatiladi.

Mexanik tebranma harakatlarda ishqalanish hisobiga mexanik energiya issiqlik energiyasiga o'tib, kamaya boradi. Elektromagnit energiya elektromagnit tebranish tizimi qarshiliklarida issiqlik ajralishiga sarf bo'lishi hisobiga kamaya boradi. Oddiy chiziqli tizimlarni, ya'ni prujinali mayatnik yoki induktivlik, sig'im va qarshilikdan iborat bo'lgan tebranish konturini ko'rib chiqamiz. Qarshilikli elektromagnit zanjirdagi erkin so'navchi tebranishlar yuzaga keladi.

Kondensator, g'altak va qarshilikdan iborat bo'lgan har qanday zanjirda elektromagnit so'navchi tebranishlar sodir bo'ladi. Shunday zanjir rasmda tasvirlangan.



12.3 rasm. Qarshilikli elektromagnit zanjiri.

Agar kondensatorni zaryadlasak va zanjirni o'z holicha qoldirsak, unda so'navchi elektromagnit tebranishlar sodir bo'ladi. Chunki tok zanjir bo'yicha qarshilik qismidan o'tayotganda elektr energiyasi issiqlik energiyasi ajralib chiqishiga

sarf bo'ladi. Shu sababli, konturdagi energiya zahirasi va tebranishlar amplitudasi asta-sekin kamaya boradi, natijada tebranishlar so'na boshlaydi.

So'nuvchi elektromagnit tebranish uchun Kirxgofning II qoidasini yozamiz:

$$-L \frac{dI}{dt} = RI + \frac{Q}{C}, \quad (11.9)$$

bu erda RI – qarshilikdagi kuchlanish tushishidir, I ni $\frac{dQ}{dt}$ va $\frac{dI}{dt}$ ni $\frac{d^2Q}{dt^2}$ bilan

$$\text{almashtirsak, quyidagiga ega bo'lamiz: } \frac{d^2Q}{dt^2} + 2\beta \frac{dQ}{dt} + \omega_0^2 Q = 0 \quad (11.10)$$

Bu ifoda erkin so'nuvchi tebranishlarning differentsial tenglamasini o'zidir. Bu vaqtda tebranuvchi kattaliklar bir-biriga quyidagicha o'xshashlikka egadirlar.

$$y \rightarrow Q, \quad r \rightarrow R, \quad m \rightarrow L \quad \text{ba} \quad \omega_0 \rightarrow \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Endi $\beta = \frac{R}{2L}$, $\omega_0^2 = \frac{1}{LC}$ belgilashlarni kiritsak (10) – ifoda quyidagi ko'rinishni

$$\text{oladi} \quad \frac{d^2Q}{dt^2} + 2\beta \frac{dQ}{dt} + \omega_0^2 Q = 0, \quad (11.11)$$

Bu differentsial tenglama so'nuvchi mexanik tebranishlarning differentsial tenglamasiga o'xshashdir. $\beta^2 < \omega_0^2$ yoki $\frac{R^2}{4L^2} < \frac{1}{LC}$ shartlar bajarilgan holda, (11) – ifodaning echimi quyidagidan iborat bo'ladi.

$$Q = Q_0 e^{-\beta t} \sin(\omega' t + \alpha), \quad (11.12)$$

$$\text{bu erda} \quad \omega' = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}, \quad (11.13)$$

Bu holda ham, elektromagnit so'nuvchi tebranishlar chastotasi ω' xususiy chastota ω_0 dan kichikdir.

$R = 0$ bo'lganda $\omega' = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ shart bajariladi. Faza o'zgarishi nolga teng bo'lgan ($\alpha = 0$) oddiy holatni ko'ramiz $Q = Q_0 e^{-\beta t} \sin \omega' t$ (11.14)

Tok uchun: $I = Q_0 e^{-\beta t} [-\beta \sin \omega' t + \omega' \cos \omega' t]$ (11.15)

$\omega' = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$ tenglamadan xususiy chastotani quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\omega_0 = \sqrt{\omega'^2 + \beta^2}$$

Natijada tok qiymati quyidagi ko'rinish oladi:

$$I = \omega_0 Q_0 e^{-\beta t} \left[-\frac{\beta}{\sqrt{\omega'^2 + \beta^2}} \sin \omega' t + \frac{\omega'}{\sqrt{\omega'^2 + \beta^2}} \cos \omega' t \right], \quad (11.16)$$

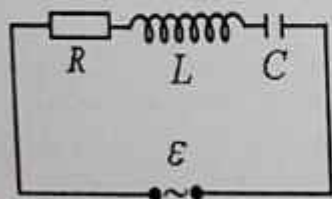
Kondensator qoplamalaridagi kuchlanish tushishi quyidagiga teng bo'ladi:

$$U = \frac{Q}{C} = \frac{Q_0}{C} e^{-\beta t} \sin(\omega' t + \alpha) = U_0 e^{-\beta t} \sin(\omega' t + \alpha), \quad (11.17)$$

Qarshilikli tebranish konturida kondensator qoplamalaridagi zaryad, kuchlanish tushishi va toklar bir xil so'nish koeffitsienti bilan erkin so'nuvchi tebranish hosil qiladilar. Bu holda zaryad va kuchlanish bir xil fazada tebranadilar, tok fazasi esa

$\frac{\pi}{2}$ burchakda oldinda boradi.

Majburiy elektromagnit tebranishlar. Elektromagnit tebranishlar so'nmasligi uchun, tebranish konturiga R - qarshilik, L - induktivlik va C - sig'imga ketma-ket va parallel ulangan, $\varepsilon = \varepsilon_0 \sin \omega t$ garmonik qonun bo'yicha o'zgaradigan, majbur etuvchi tashqi EYuK kiritiladi (rasm).



12.4- rasm. Majburiy elektromagnit tebranishni hosil qiluvchi elektr zanjir.

Kirxgof qonuniga asosan $\mathcal{E}$ ning oniy qiymati kontur elementlaridagi kuchlanish tushishlarining oniy qiymatlari yig'indisiga tengdir

$$U_L + U_R + U_C = \mathcal{E}, \quad (11.18)$$

bu erda U_L - induktivlikdagi, U_R - qarshilikdagi va U_C - kondensatordagi kuchlanish tushishlaridir. (1) - ifodada quyidagi almashtirishlarni amalga oshirsak

$$U_L = L \frac{d^2 Q}{dt^2}; \quad U_R = R \frac{dQ}{dt}; \quad U_C = \frac{Q}{C}; \quad \mathcal{E} = \mathcal{E}_0 \sin \omega t$$

majburiy elektromagnit tebranishlarning differentsial tenglamasiga ega bo'lamiz.

$$L \frac{d^2 Q}{dt^2} + R \frac{dQ}{dt} + \frac{1}{C} Q = \mathcal{E}_0 \sin \omega t, \quad (11.19)$$

Bu tenglamaning echimini konturdagi tok uchun quyidagicha ifodalash mumkin:

$$I = I_0 \sin(\omega t - \varphi), \quad (11.20)$$

va uni integrallasak, kondensator qoplamalaridagi zaryadning o'zgarish qonunini topishimiz mumkin:

$$Q = \int I_0 \sin(\omega t - \varphi) dt = -\frac{I_0}{\omega} \cos(\omega t - \varphi) = \frac{I_0}{\omega} \sin\left(\omega t - \varphi - \frac{\pi}{2}\right), \quad (11.21)$$

o'z navbatida bu tenglamani differentsiallasak, g'altakdagi tokning o'zgarish tezligini topishimiz mumkin.

$$\frac{d^2 Q}{dt^2} = I_0 \omega \cos(\omega t - \varphi) = I_0 \omega \sin\left(\omega t - \varphi + \frac{\pi}{2}\right), \quad (11.22)$$

yuqoridagi ifodalardan foydalansak, quyidagi majburiy elektromagnit tebranishlar tenglamasini keltirib chiqaramiz:

$$L \omega I_0 \sin\left(\omega t - \varphi + \frac{\pi}{2}\right) + R I_0 \sin(\omega t - \varphi) + \frac{I_0}{\omega C} \sin\left(\omega t - \varphi - \frac{\pi}{2}\right) = \mathcal{E}_0 \sin \omega t, \quad (11.23)$$

(1)- va (6)- tenglamalardan quyidagi qonuniyatlarni tasavvur qilishimiz mumkin:

$$1) \quad U_L = L \omega I_0 \sin\left(\omega t - \varphi + \frac{\pi}{2}\right); \quad R_L = \omega L$$

konturning induktivlik qarshiligidagi kuchlanishning tebranish qonuni;

2) $U_R = RI_0 \sin(\omega t - \varphi)$ -R aktiv qarshilikdagi kuchlanishning tebranish qonuni;

3) $U_C = \frac{1}{\omega C} I_0 \sin(\omega t - \varphi - \frac{\pi}{2})$, $R_C = \frac{1}{\omega C}$ sig'im qarshiligidagi kuchlanishning tebranish qonuni.

Bu erda $\omega L I_0 = U_{L0}$; $R I_0 = U_{R0}$; $\frac{I_0}{\omega C} = U_{C0}$ - induktivlik, qarshilik va sig'imdagi kuchlanishlarining amplituda qiymatlaridir.

U_L, U_R va U_C kuchlanishlarni taqqoslasak, U_R ga nisbatan U_L fazasi $+\frac{\pi}{2}$ oldinda, U_C fazasi, esa $-\frac{\pi}{2}$ orqada qoladi.

Rasmda yuqoridagi kuchlanishlarning fazaviy holatlari kuchlanishning vektor diagrammasi ko'rinishida keltirilgan. Diagrammadan

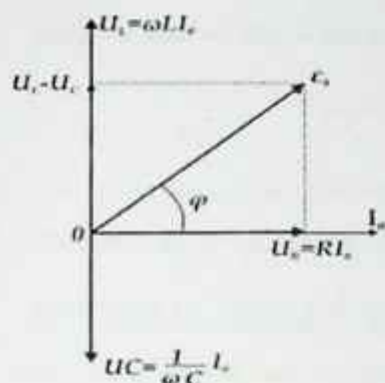
$$\varepsilon_0^2 = R^2 I_0^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2 I_0^2, \quad (11.25)$$

yerdan
$$I_0 = \frac{\varepsilon_0}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2}}, \quad (11.26)$$

$\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2}$ - tebranish konturining impeidansi - yoki to'la qarshiligi deb ataladi.

Kuchlanishlar diagrammasidan φ boshlang'ich fazani ham topish mumkin.

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}, \quad (11.27)$$

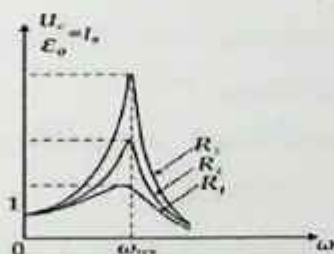


12.5 rasm. Elektromagnit zanjirning induktivlik qarshiligi va sig'imidagi kuchlanishlarning amplitudalari. Tok kuchining amplitudasi konturning (L , R va C) parametrlaridan tashqari $\mathcal{E}_0$ majburlovchi EYuK va uning tsiklik chastotasiga bog'liq.

Tok kuchi amplitudasining ω -tsiklik chastotaga bog'liqligi rasmda keltirilgan. Majbur etuvchi EYuK ning ω chastotasi o'zgarishi bilan

$\omega L = \frac{1}{\omega C}$ teng bo'lish holatiga erishish mumkin va konturning reaktiv qarshiligi

nolga aylanadi: $\left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right) = 0$, 11-27



12.6 rasm. Tebranish konturi tok kuchi amplitudasining tsiklik chastotaga bog'liq

Tebranish konturi tok kuchi amplitudasining tsiklik chastotaga bog'liq o'zgarishi $R_1 < R_2 < R_3$

Bu shart bajarilganda zanjirdagi tok kuchining amplitudasi maksimal bo'ladi va faqat

$$I_{0\max} = \frac{\varepsilon_0}{R} \quad (11.20)$$

aktiv qarshilikka bog'liq bo'ladi.

R, L, C ga majbur etuvchi EYuK ni ketma-ket ulanganda tebranish konturidagi tok kuchi amplitudasining birdan ortish hodisasi kuchlanishning rezonansi deb ataladi.

Rezonans sodir bo'ladigan ω_{re} chastota rezonans chastotasi deb ataladi va shart bilan

$$\omega_{re} = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \omega_0 \quad (11.22)$$

bu erda ω_0 - tebranish konturining xususiy chastotasidir. Rasmda keltirilgan egri chiziqlar rezonans egri chiziqlari deb ataladi. Barcha egri chiziqlarning maksimumi, mexanik rezonansdan farqli ravishda, ω chastotaga to'g'ri keladi.

Kuchlanishning rezonansida UL va UC o'zlarining maksimal qiymatlariga

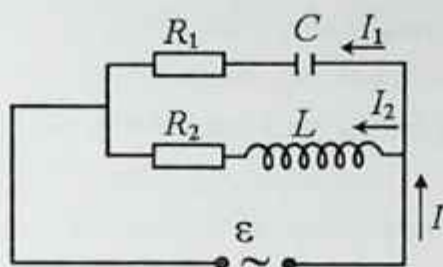
$$\text{erishadilar: } U_{L_0} = U_{C_0} = \varepsilon_0 \frac{\sqrt{L}}{\sqrt{C}} \frac{1}{R}, \quad \frac{U_{C_0}}{\varepsilon_0} = \frac{\sqrt{L}}{\sqrt{C}} = \eta, \quad (11.23)$$

nisbat tebranish konturining aslligi deb ataladi. Bu erda $\sqrt{\frac{L}{C}}$ konturning to'lqin qarshiligidir.

Endi majbur etuvchi EYuK ning tebranish konturi induktivligi va sig'imiga parallel ulanish holatini ko'rib chiqamiz.

Tarmoqlardagi aktiv qarshiliklarni juda kichik deb hisoblaymiz va ularni inobatga olmasak ham bo'ladi. $R_1 = R_2 = 0$.

U holda, vaqtning istalgan momentida, o'zaro parallel bo'lgan sig'im va induktivlikdagi kuchlanishlar bir-biriga tengdir. $U_L = U_C = \varepsilon$



12.7 rasm. Induktivlik va sig'imga parallel ulangan eYuK li tebranish konturi.

Zanjirning ikkala tarmog'idagi har bir tokning amplituda qiymatlari va ularning fazalarini quyidagicha hisoblash mumkin.

$$I_{01} = \frac{\varepsilon_0}{\frac{1}{\omega C}}; \quad (R_1 = 0, \omega L = 0) \quad \text{va} \quad \operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{-\frac{1}{\omega C}}{0} = -\infty, \quad (11.24)$$

$$I_{02} = \frac{\varepsilon_0}{\omega L}; \quad \left(R_2 = 0, \omega = \frac{1}{\infty} = 0 \right) \quad \text{va} \quad \operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{\omega L}{0} = \infty, \quad (11.25)$$

Bu tenglamalardan $\varphi_1 = \frac{\pi}{2}$, $\varphi_2 = \frac{3}{2}\pi$ ga tengdir. Tashqi zanjirda tokning amplitudasi

$$I_0 = |I_{01} - I_{02}| = \varepsilon_0 \left| \omega C - \frac{1}{\omega L} \right|, \quad (11.26)$$

ga teng. Agarda $\omega = \omega_{rc} = \frac{1}{LC}$ bo'lsa,

$$I_0 = \varepsilon_0 \left| \frac{C}{\sqrt{LC}} - \frac{\sqrt{LC}}{L} \right| = \varepsilon_0 \left| \sqrt{\frac{C}{L}} - \sqrt{\frac{C}{L}} \right| = 0, \quad (11.27)$$

Bu holda kontur qarshiligi katta bo'lgan fil'trni eslatadi.

Sinov savollari

1. Fuko toki nima.
2. Uymaviy elektr maydon qachon xosil bo'ladi
3. Maksvellning birinchi asosiy tenglamasi keltirib chiqaring
4. Siljish toki fizik ma'nosini tushintiring
5. Maksvellning ikkinchi asosiy tenglamasi. keltirib chiqaring

6. Maksvell tenglamalarini integral ko'rinishini yozing.

Qo'shimcha masalalar

Tebranish konturi sio'imi 8 pf bo'lgan kondensator va induktivligi 0,5 mH bo'lgan o'altakdan iborat. o'altakdagi tok kuchining maksimal qiymati 40 mA bo'lsa, kondensatordagi maksimal kuchlanish nimaga teng?

(Javobi: 317 V).

№1	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$C = 8 \text{ pF} = 8 \cdot 10^{-12} \text{ F}$ $L = 0,5 \text{ mH} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ H}$ $I_0 = 40 \text{ mA} = 40 \cdot 10^{-3} \text{ A}$ $U_0 = ?$	$W^{\max} = \frac{CU_0^2}{2}$ $W^{\max} = \frac{L \cdot I_0^2}{2}$ Bu energiyalar tengligidan $U_0 = I_0 \cdot \sqrt{\frac{L}{C}}$	$U_0 = 40 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{0,5 \cdot 10^{-3}}{8 \cdot 10^{-12}}} = 317 \text{ V}$

№2 induktivligi 31 mH bo'lgan o'altak, qoplamalarining yuzasi 20 sm², orasidagi masofa 1 sm bo'lgan kondensator bilan ulangan. Tok kuchining maksimal qiymati 0,2 ma, kuchlanishning maksimal qiymati esa 10 V. kondensator qoplamalari orasidagi muhitning dielektrik singdiruvchanligi nimaga teng? (Javobi: 7).

№2	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$L = 31 \text{ mH} = 31 \cdot 10^{-3} \text{ H}$ $I_0 = 0,2 \text{ mA} = 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ A}$ $U_0 = 10 \text{ V}$ $d = 1 \text{ sm} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ $S = 20 \text{ sm}^2 = 20 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$ $\epsilon = ?$	$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Kl}^2}{\text{N} \cdot \text{m}^2}$ $W^{\max} = \frac{CU_0^2}{2};$ $W^{\max} = \frac{L \cdot I_0^2}{2}; \quad C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}$	$\epsilon = \frac{31 \cdot 10^{-3} \cdot (0,2 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 1 \cdot 10^{-3}}{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 20 \cdot 10^{-3} \cdot 10} = 7$

	Yuqoridagi tenglamalarni birgalikda ishlaymiz $\frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d} \frac{U_0^2}{2} = \frac{L \cdot I_0^2}{2} \quad \text{bundan}$ $\varepsilon = \frac{L \cdot I_0^2 \cdot d}{\varepsilon_0 \cdot S \cdot U_0^2}$	
--	--	--

№3 ideal tebranish konturining induktivligi 0,2 h bo'lgan o'altak sio'imi 20 μ F bo'lgan kondensatordan iborat. Kondensatordagi kuchlanish 1 V bo'lgan paytda konturdagi tok kuchi 0,01 a. Tok kuchining maksimal qiymatini aniqlang. (Javobi: 0,012a).

№	Berilgan	Formula	Hisoblash
3	$C = 20 \mu F = 20 \cdot 10^{-6} F$ $L = 0,2 H$ $I = 0,1 A = 0,1 \cdot 10^{-3} A$ $U = 1 V$ $I_0 = ?$	$W^{max} = W^{elektr} + W^{mag}$ Bu yrda maksimal energiya $W_{mag}^{max} = \frac{L \cdot I_0^2}{2}$ Demak, $\frac{L \cdot I_0^2}{2} = \frac{L \cdot I^2}{2} + \frac{C \cdot U^2}{2}$ Bundan $I_0 = \sqrt{\frac{L \cdot I^2 + C \cdot U^2}{L}}$	$I_0 = \sqrt{\frac{0,2 \cdot (0,1 \cdot 10^{-3})^2 + 20 \cdot 10^{-6} \cdot 1^2}{0,2}} = 0,12$

№ 4 Tebranish konturi sio'imi 2,5 μ F bo'lgan kondensator va induktivligi 1 h ga teng o'altakdan iborat. kondensator qoplamalaridagi zaryadning amplitudasi 0,5 μ C bo'lsa, zaryad tebranishlari tenglamasini yozing. (Javobi: $0,5 \cdot 10^{-6} \cos 630 106 t$).

№4	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$C = 2,5 \mu F = 2,5 \cdot 10^{-6} F$ $L = 1 H$ $q_0 = 0,5 \mu C = 0,5 \cdot 10^{-3} C$ $\varphi_0 = 0$ $q(t) = ?$	$q = q_m \sin(\omega \cdot t + \varphi_0)$ Bunda $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$	$\omega = \frac{1}{\sqrt{1 \cdot 2,5 \cdot 10^{-6}}} = 630 \cdot 10^3$ $q = 0,5 \cdot 10^{-6} \cos 630 \cdot 10^3 t$

№5 o'altakning induktivligi 0,04 h bo'lgan tebranish konturining erkin tebranishlar chastotasi 800 Hz. Konturdagi kondensator sio'imi nimaga teng? (Javobi: 1 μF)

№5	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$L = 0,04 H$ $\nu = 800 Hz$ $C = ?$	$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ va $\omega = 2 \cdot \pi \cdot \nu$ Bu tenglamalarni tenglashtirami z $C = \frac{1}{4 \cdot \pi^2 \cdot \nu^2 \cdot L}$	$C = \frac{1}{4 \cdot 3,14^2 \cdot 800^2 \cdot 0,04} = 1 \cdot 10^{-6} F = 1 \mu F$

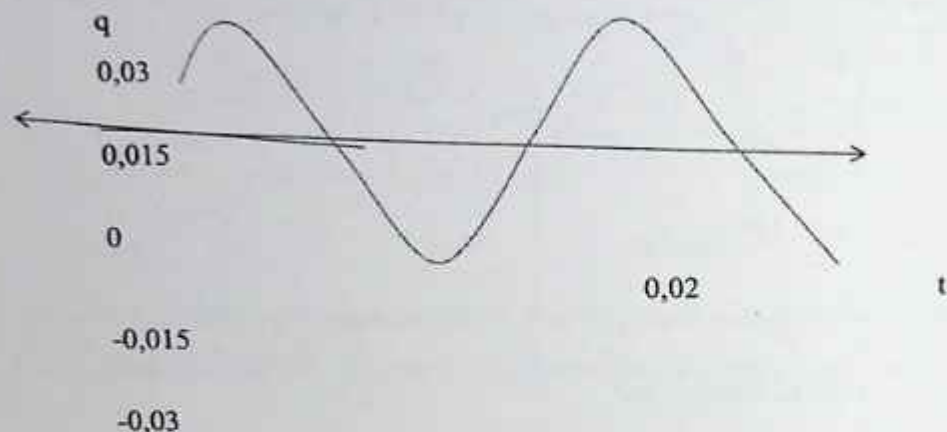
№6 Sio'imi 0,5 μF teng zaryadlangan kondensator induktivligi 5 mH bo'lgan o'altak bilan ulangan. Qancha vaqtdan so'ng kondensatorning elektr maydon energiyasi o'altakning magnit maydon energiyasiga teng bo'ladi? (Javobi: 39 · 10⁻⁵s).

№6	Berilgan	Formula	Hisoblash

$L = 5 \cdot 10^{-3} H$ $C = 0,5 \mu F = 0,5 \cdot 10^{-6} F$ $t = ?$	$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ $W^{\max} = \frac{q_0^2}{2C}$ $W^{\max} = W^{\text{elektr}} / 2 + W^{\text{magnet}} / 2$ $= 2W^{\text{elektr}}$ $q_0^2 = 2q^2$; bundan $q = \frac{q_0}{\sqrt{2}}$ $q = q_m \sin(\omega \cdot t + \varphi_0)$ $\frac{q_0}{\sqrt{2}} = q_0 \sin(\omega \cdot t + 0)$ $\sin \frac{\pi}{4} = \sin(\omega \cdot t + 0)$ $\frac{\pi}{4} = \omega \cdot t$ $\frac{\pi}{4 \cdot \omega} = t$	$\omega = \frac{1}{\sqrt{5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,5 \cdot 10^{-6}}} = \frac{10^5}{5} = 2 \cdot 10^4$ $t = \frac{3,14}{4 \cdot 2 \cdot 10^4} = 39 \cdot 10^{-6} s$
---	--	---

№7 $q = 0,03 \cos(100\pi t + \pi/3)$ tenglamaning grafigini chizing

№7	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$q = 0,03 \cos(100\pi t + \pi/3)$ $q(t) = ?$	$q = q_m \sin(\omega \cdot t + \varphi_0)$ $t = 0s$ da $q_0 = 0,03 \cos(\pi/3) = 0,015$ $t = 1s$ da $q_1 = 0,03 \cos(100\pi t + \pi/3) = 0,01$ $\omega = 100 \cdot \pi = \frac{2\pi}{T}$	$T = \frac{2\pi}{100\pi} = 0,02s$



№8 Aktiv qarshiligi 50Ω bo'lgan o'zgaruvchan tok zanjiridagi kuchlanishning amplituda qiymati 100 V , tebranish chastotasi 100 Hz . Zanjir dagi tok tebranishlari tenglamasini yozing. (Javobi: $2 \cos 200\pi t$).

№8	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$R = 50 \Omega$ $U_0 = 100 \text{ V}$ $\nu = 100 \text{ Hz}$	$I = I_0 \cos(\omega \cdot t_0)$	$\omega = 2 \cdot \pi \cdot 100 = 200\pi \frac{\text{rad}}{\text{s}}$
	-----	$\omega = 2\pi\nu$	$I = \frac{100}{50} = 2 \text{ A}$
	$I(t) = ?$	$I_0 = \frac{U_0}{R}$	$I = 2 \cos(200 \cdot \pi \cdot t)$

№9 Zanjirdagi tok kuchi $8,5 \sin(628t + 0,325)$ qonuni bo'yicha o'zgaradi. Tok kuchining effektiv qiymatini, tebranishlar fazasi va chastotasini toping. (Javobi: $6,03 \text{ A}$; $0,325 \text{ rad}$; 100 Hz).

№9	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$8,5 \sin(628t + 0,325)$	$I_{\text{eff}} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$	$I_{\text{eff}} = \frac{8,5}{\sqrt{2}} = 6,03 \text{ A}$
	-----	$\varphi = \alpha t + \varphi_0$	$\varphi = \alpha t + \varphi_0 = 628t + 0,325 =$
	$I_{\text{eff}} = ? \quad \varphi = ? \quad \nu = ?$		$\nu = \frac{628}{2 \cdot 3,14} = 100 \text{ Hz}$

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

№10 O'zgaruvchan tok zanjiriga ulangan kondensatordagi tok kuchi $0,03 \cos(314 t + 1,57)$ qonuni bo'yicha o'zgaradi. kondensatordagi maksimal kuchlanish 60 V bo'lsa, uning sio'imini aniqlang. (Javobi: $5,3 \mu\text{F}$).

№1	Berilgan	Formula	Hisoblash
0	$I = 0,03 \cos(314 t + 1,57)$ $U_0 = 60\text{V}$ $C = ?$	$i = I_m \cos(\omega \cdot t + \varphi_0)$ $I = 0,03 \cos(314 t + 1,57)$ $I_0 = 0,03; \quad \omega = 314$ $I_0 = q_0 \omega \quad \text{bundan } q_0 = \frac{I_0}{\omega}$ $C = \frac{q_0}{U_0}$	$q_0 = \frac{0,03}{314} =$ $C = \frac{0,03}{314 \cdot 60} = 1,5 \cdot 10^{-6} \text{ F} = 1,5 \mu\text{F}$

№11 O'zgaruvchan tok zanjiriga ulangan o'altak uchlariga qo'yilgan kuchlanish amplitudasi 157 V, tok kuchining amplitudasi 5 a, tokning chastotasi 50 hz bo'lsa, uning induktivligi nimaga teng. (Javobi: 0,1 h).

№11	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$I_0 = 5\text{A}$ $U_0 = 157\text{V}$ $\nu = 50\text{Hz}$ $L = ?$	$W_{\text{mag}}^{\text{max}} = \frac{L \cdot I_0^2}{2}$ $W^{\text{max}} = \frac{CU_0^2}{2}$ $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ Bu formulalarni birgalikda ishlasak $U_m = 2\pi \cdot \nu LI_m$ Bundan $L = \frac{U_m}{2 \cdot \pi \cdot \nu \cdot I}$	$L = \frac{157}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 5} = 0,1\text{H} =$

№12 kuchlanishning effektiv qiymati 127 V bo'lgan zanjirga induktivligi 0,16 H, aktiv qarshiligi 2Ω va si'o'imi $64 \mu F$ bo'lgan kondensator ketmaket ulangan. Tokning chastotasi 200 Hz. Tok kuchining effektiv qiymatini toping.

№1	Berilgan	Formula	Hisoblash
2	$U_0 = 127V$ $L = 0,16H$ $R = 2\Omega$ $C = 64\mu F = 64 \cdot 10^{-3} F$ $\nu = 200Hz$ $I_{ef} = ?$	$I_{ef} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$ $I_{ef} = \frac{U_{ef}}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}}$ $\omega = 2\pi\nu$	$\omega = 2\pi 200 = 400\pi$ $I_{ef} = \frac{127}{\sqrt{2^2 + (400\pi \cdot 0,16 - \frac{1}{400\pi \cdot 64 \cdot 10^{-3}})^2}}$

№13 3.24-rasmda zanjirdagi eYukning vaqtga boo'liqlik grafigi keltirilgan. O'zgaruvchan tokning maksimal qiymatini, uning davrini, chastotasini toping. $\varepsilon(t)$ boo'lanish formulasini yozing.

№13	Berilgan	Formula	Hisoblash
	 3.24-rasm. $\varepsilon_0 = ?$ $T = ?$ $\nu = ?$	$\varepsilon = \varepsilon_m \sin(2\pi \cdot \nu \cdot t + \varphi_0)$ $\varphi_0 = \frac{\pi}{2}; T = 2 \cdot 0,8 = 1,6;$ $\nu = \frac{1}{T} = \frac{10}{16} = \frac{5}{8}$ $\varepsilon_0 = 0,2$	$\varepsilon = 0,2 \sin(2\pi \cdot \frac{1}{1,6} \cdot t + \frac{\pi}{2}) =$ $= 0,2 \sin(\frac{5\pi}{4} t + \frac{\pi}{2})$

№14 3.25-rasmda zanjirdagi tok kuchining vaqtga boo'liqlik grafigi keltirilgan. O'zgaruvchan tokning maksimal qiymatini, uning davrini, chastotasini toping. $i(t)$ boo'lanish formulasini yozing.

№1	Berilgan	Formula	Hisoblash
4			



3.25-rasm.

$I_0 = ?$ $T = ?$ $\nu = ?$ $i(t) = ?$

$$i = I_m \cos\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t + \varphi_0\right)$$

$$\varphi_0 = \frac{\pi}{2}; T = 2 \cdot (t \cdot 10^{-2}) = 2 \cdot (2 \cdot 10^{-2}) = 4 \cdot 10^{-2} \text{ s}$$

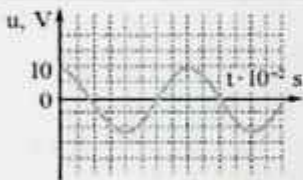
$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{4 \cdot 10^{-2}} = \frac{100}{4} = 25 \text{ Hz}$$

$$I_m = 2 \text{ A}$$

$$i = 2 \cos\left(2\pi \cdot 25t + \frac{\pi}{2}\right)$$

$$= 2 \cos\left(50\pi t + \frac{\pi}{2}\right)$$

№15 3.26-rasmda zanjirdagi kuchlanishning vaqtga bo'liqlik grafigi keltirilgan. O'zgaruvchan tokning maksimal qiymatini, uning davrini, chastotasini toping. $U(t)$ bo'lanish formulasini yozing.

№15	Berilgan	Formula	Hisoblash
	 3.26-rasm. $U_0 = ?$ $T = ?$ $\nu = ?$	$U = U_m \sin(2\pi \cdot \nu \cdot t + \varphi_0)$ $\varphi_0 = 0; T = 8 \cdot 10^{-2} \text{ s}$ $\nu = \frac{1}{T} = \frac{100}{8}$ $U_0 = 10$	$U = 10 \sin\left(2\pi \cdot \frac{100}{8} \cdot t + 0\right) =$ $= 10 \sin(25\pi t)$

№16 Chastotasi 400 hz bo'lgan o'zgaruvchan tok zanjiriga induktivligi 0,1hbo'lgan o'altak ulangan. Zanjirga qanday sio'imga ega bo'lgan kondensator ulansa, rezonans hodisasi kuzatiladi? (Javobi: 1,6 μF).

№1	Berilgan	Formula	Hisoblash
6	$L = 0,1 \text{ H}$ $\nu = 400 \text{ Hz}$ $C = ?$	$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ bundan $C = \frac{1}{\omega^2 \cdot L} = \frac{1}{4\pi^2 \nu^2 L}$	$C = \frac{1}{4 \cdot 10 \cdot 16 \cdot 10^{-4} \cdot 0,1} = 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ F} =$ $= 1,6 \mu\text{F}$

№17 Tebranish konturiga ulangan kondensatorning sio'imi 50 pf, erkin tebranishlar chastotasi 10 Mhz. o'altakning induktivligini toping. (Javobi: 5,1 μ H).

№1	Berilgan	Formula	Hisoblash
7	$C = 50 \text{ pF} = 50 \cdot 10^{-12} \text{ F}$ $\nu = 10 \text{ MHz} = 10^7 \text{ Hz}$ $L = ?$	$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ bundan $L = \frac{1}{\omega^2 \cdot C} = \frac{1}{4\pi^2 \nu^2 C}$	$C = \frac{1}{4 \cdot 10 \cdot 10^{18} \cdot 50 \cdot 10^{-12}} = 5,1 \cdot 10^{-6} \text{ F} = 5,1 \mu\text{F}$

№18 konturdagi kuchlanish amplitudasi 100 V, tebranishlar chastotasi 5 MHz ga teng. Qancha vaqtdan so'ng kuchlanish 71 V ga teng bo'ladi? (Javobi: 25 ns).

№18	Berilgan	Formula	Hisoblash
	$U_0 = 100 \text{ V}$ $U = 71 \text{ V}$ $\nu = 5 \text{ MHz} = 5 \cdot 10^6 \text{ Hz}$ $t = ?$	$U = U_0 \sin(2\pi \cdot \nu \cdot t)$ $71 = 100 \sin(2\pi \cdot 5 \cdot 10^6 \cdot t)$ $0,71 = \sin(2\pi \cdot 5 \cdot 10^6 \cdot t)$ $\sin \frac{\pi}{4} = \sin(2\pi \cdot 5 \cdot 10^6 \cdot t)$ $\frac{\pi}{4} = 2\pi \cdot 5 \cdot 10^6 \cdot t$	$\frac{\pi}{4} = 2\pi \cdot 5 \cdot 10^6 \cdot t$ $t = \frac{1}{4 \cdot 10^7} = 25 \cdot 10^{-9} \text{ s} = 25 \text{ ns}$

13-§. Elektromagnit to'lqinlar

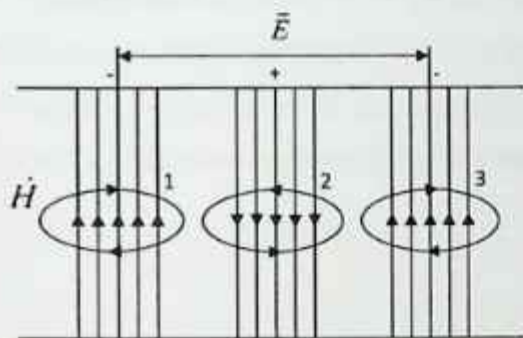
Mavzular mazmuni: Elektromagnit to'lqinlar. Elektromagnit to'lqinlar shkalasi.

.Elektromagnit to'lqinlarning tarqalish tezligi. 3.Elektromagnit to'lqin tenglamasi.

4. Elektromagnit to'liqin energiya zichligi va energiya oqimining zichligi. 5. Umov-Poyting vektori. 6. Elektromagnit to'liqlarni qo'llanishi. Tayanch iboralar: elektromagnit to'liqin, tarqalish tezligi, to'liqin tenglamasi, energiya zichligi, Poyting vektori.

Elektromagnit to'liqlar. Dielektrik uchun Maksvellning (1) - va (2) - tenglamalaridan quyidagi fikr kelib chiqadi, ya'ni elektr va magnit maydonlarning o'zaro bog'liqligi, bu maydonlardan birining o'zgarishi qo'shni nuqtalarda boshqasining paydo bo'lishini eslatadi. Bu esa fazoda elektromagnit to'liqlarni paydo bo'lishi va tarqalishiga olib keladi.

Faraz qilaylik, fazoning qandaydir joyida (1-rasm. 1-nuqtada) kuchlanganligi $\vec{E}$ bo'lgan elektr maydoni hosil qilingan.



13.1 - rasm. Elektromagnit to'liqin tarqalishida elektr va magnit maydonlarning taqsimlanishi.

Maydon kuchlanganligini 0 dan E gacha o'zgarishi Maksvellning I - tenglamasiga

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = \frac{\partial D_n}{\partial t}$$

asosan:

elektr maydon kuch chiziqlarini o'rab oluvchi magnit maydonini hosil bo'lishiga olib keladi.

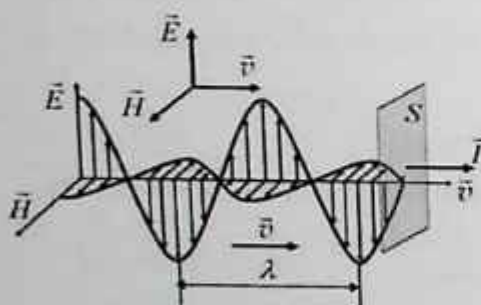
Kuchlanganligi $\vec{H}$ bo'lgan magnit maydonining paydo bo'lishi, Maksvellning

$$\oint E_t dl = - \frac{d\Phi}{dt}$$

II - tenglamasiga asosan:

yana elektr maydonini hosil qiladi. Elektr maydoni uyurmali va yopiq bo'lib 2 - nuqtada pastga, 1 - nuqtada yuqoriga yo'nalgan bo'ladi. Shunday qilib, qandaydir nuqtada paydo bo'lgan elektr (yoki magnit) maydoni barcha yo'nalishlarda bir vaqtda tarqaladigan elektr va magnit to'lqinlarning manbai bo'lib qoladi. Elektr va magnit to'lqinlarining majmuasi elektromagnit to'lqin deb ataladi. Bu holda,

elektromagnit to'lqin o'tuvchi har bir nuqtada $\vec{E}$ va $\vec{H}$ kuchlanganliklarning har biri maksimumgacha o'sib, nolgacha kamayishga intiladi. Agarda boshlang'ich nuqtada maydon kuchlanganligi uzoq vaqt $E = E_0 \sin \omega t$ qonuniyat bilan tebranib tursa, u holda to'lqin o'tadigan har bir nuqtada $\vec{E}$ va $\vec{H}$ maydon kuchlanganliklari ham shu qonuniyat bilan tebranadilar. Bu ikkala vektorlar bir-biriga perpendikulyar bo'lib, to'lqin tarqalishi yo'nalishiga perpendikulyardir, ya'ni elektromagnit to'lqin ko'ndalang to'lqindir.



13.2- rasm. Elektromagnit to'lqinning elektr va magnit kuchlanganlik vektorlari yo'nalishlari.

Ikki maydon kuchlanganliklari vektorlarining vaqtning bir onida har xil nuqtalarda yo'nalganliklari 2 - rasmda keltirilgan.

Maksvell tenglamalaridan quyidagi differentsial tenglamalarni keltirib chiqarish mumkin:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial z^2} &= \varepsilon \varepsilon_0 \mu \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \\ \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial z^2} &= \varepsilon \varepsilon_0 \mu \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2} \end{aligned} \right\}, \quad (12.1)$$

Bu elektr va magnit to'lqinlarining mos ravishda to'lqin tenglamalaridir. Bu tenglamalarni to'lqinning differentsial tenglamasi:

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial z^2} = \frac{1}{U^2} \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2}$$

bilan solishtirsak, elektr va magnit to'lqinlarning fazali tezliklari bir xil ekanligi

ko'rinib turibdi $v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon \varepsilon_0 \mu \mu_0}}$, yani faqat to'lqin tarqaladigan muhitning dielektrik va magnit singdiruvchangliklariga bog'liq ekan.

Vakuumda $\varepsilon = \mu = 1$ ga teng bo'lgani uchun to'lqinlarning fazali tezliklari yorug'likning vakuumdagi tezligiga tengdir.

$$v = c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} = 299729 \text{ km/s.}$$

Agar $c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}}$ ekanligini hisobga olsak, elektromagnit to'lqinining istalgan muhitdagi tarqalish tezligi uchun Maksvell formulasini keltirib chiqaramiz:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon \mu}}, \quad (12.2)$$

X o'qi bo'ylab tarqalayotgan yassi elektromagnit to'lqin uchun, elektromagnit to'lqinning ko'ndalang ekanligini hisobga olgan holda, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$E_x = H_x = 0$$

$$E_z = H_z = 0$$

ekanligini hisobga olsak, Maksvell tenglamasidan X o'qi bo'ylab tarqalayotgan yassi elektromagnit to'lqinning differentsial tenglamalarini keltirib chiqaramiz:

$$\frac{\partial^2 E_y}{\partial x^2} = \frac{\varepsilon\mu}{c^2} \frac{\partial^2 E_y}{\partial t^2}; \quad \frac{\partial^2 H_z}{\partial x^2} = \frac{\varepsilon\mu}{c^2} \frac{\partial^2 H_z}{\partial t^2}, \quad (12.3)$$

Bu tenglamalarning eng oddiy echimlari quyidagi funksiyalardan iboratdir:

$$E_y = E_0 \sin(\omega t - kx + \alpha_1), \quad H_z = H_0 \sin(\omega t - kx + \alpha_2) \quad (12.4)$$

Bu yyerda ω -to'lqin chastotasi, $k = 2\pi/\lambda = \omega/v$ to'lqin sonidir, α_1 va α_2 $x = 0$ nuqtadagi tebranishlarning boshlang'ich fazalaridir.

$$\text{Elektromagnit to'lqin uchun, quyidagi tenglik:} \quad \varepsilon\varepsilon_0 E_0^2 = \mu\mu_0 H^2 \quad (12.5)$$

o'rinalidir. Bu tenglikdan elektr va magnit maydon vektorlarining tebranishlari bir xil fazada ($\alpha_1 = \alpha_2$) sodir bo'lishi ko'rinib turibdi va bu vektorlarning amplitudalari bir-biri bilan quyidagicha bog'langandir.

$$E_0 \sqrt{\varepsilon\varepsilon_0} = H_0 \sqrt{\mu\mu_0}, \quad (12.6)$$

Yassi elektromagnit to'lqin tenglamasining vektor ko'rinishi quyidagichadir:

$$\vec{E} = \vec{E}_0 \sin(\omega t - kx), \quad \vec{H} = H_0 \sin(\omega t - kx), \quad (12.7)$$

bu yerda fazalar farqi nolga tengdir $\alpha_1 = \alpha_2 = 0$.

Elektromagnit to'lqinlar, har qanday to'lqinlarga o'xshash, energiyani ko'chirish xususiyatiga egadirlar.

Elektromagnit maydon energiyasi zichligi ω elektr va magnit maydonlar energiyalari zichliklari yig'indisidan iborat.

$$w = w_E + w_H = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2} + \frac{\mu\mu_0 H^2}{2}, \quad (12.8)$$

Fazoning berilgan nuqtasida $\vec{E}$ va $\vec{H}$ vektorlar bir xil fazada o'zgaradilar. Shu sababli, E_0 va H_0 larning amplituda qiymatlari orasidagi nisbat ularning boshqa oniy qiymatlari uchun ham o'rinalidir. Bundan, to'lqinning elektr va magnit maydonlari energiyalari zichligi vaqtning har bir momenti uchun bir xildir degan fikr

$$\text{tug'iladi, yani} \quad w_E = w_H \quad \text{Shuning uchun:} \quad w = 2w_E = \varepsilon\varepsilon_0 E^2 \quad (12.9)$$

$E\sqrt{\epsilon\epsilon_0} = H\sqrt{\mu\mu_0}$ tenglikdan foydalanib, (9) - ifodani quyidagicha qayta

yozish mumkin:

$$w = \sqrt{\epsilon\epsilon_0\mu\mu_0} EH = \frac{1}{v} EH$$

bu yerda u - elektromagnit to'lqin tarqalish tezligi. Elektromagnit to'lqin energiyasi oqimi zichligi vektori quyidagiga tengdir:

$$S = w \cdot v = EH, \quad (12.10)$$

$\vec{E}$ va $\vec{H}$ vektorlar o'zaro bir - biriga perpendikulyar va to'lqin tarqalishi yo'nalishi bilan o'ng burama tizimini tashkil etadi. Shu sababli, $[\vec{E}\vec{H}]$ vektor yo'nalishi energiyaning ko'chishi yo'nalishiga mos keladi.

Elektromagnit to'lqin energiyasi oqimi zichligi vektorini $\vec{E}$ va $\vec{H}$ vektorlarning ko'paytmasi sifatida tasavvur qilish mumkin:

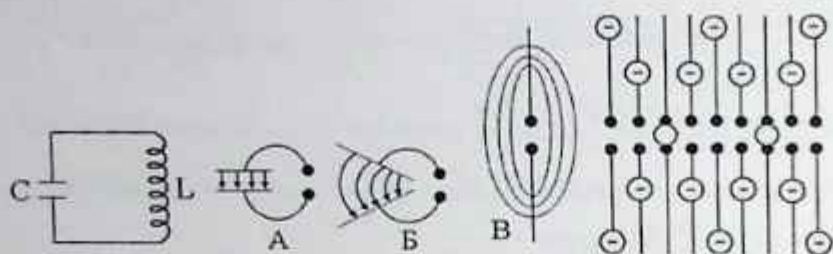
$$\vec{S} = [\vec{E} \cdot \vec{H}], \quad (12.11)$$

va bu $\vec{S}$ - vektor Umov - Poynting vektori deb ataladi.

Elektromagnit to'lqinlar shkalasi. Amalda elektromagnit to'lqinlar manbai bo'lib istalgan elektr tebranish konturi yoki o'zgaruvchan elektr toki oqayotgan o'tkazgich bo'lishi mumkin. Elektromagnit to'lqinlarni qo'zg'atish uchun fazoda o'zgaruvchan elektr maydonini (siljish tokini) yoki mos ravishda o'zgaruvchan magnit maydonini hosil qilish zarurdir. Manbaning nurlanish qobiliyati uning shakli, o'lchamlari va tebranish chastotasi bilan aniqlanadi.

Nurlanish sezilarli bo'lishi uchun, o'zgaruvchan elektr maydoni hosil bo'ladigan fazoning hajmi katta bo'lishi kerak. Shu sababli, elektromagnit to'lqinlar hosil qilish uchun yopiq tebranish konturlarini ishlatib bo'lmaydi, chunki kondensator qoplamalari orasida elektr maydoni, induktivlik g'altagi ichida magnit maydoni joylashgan bo'ladi. Yopiq tebranish konturida (3 - rasm) sig'im va induktivlik katta qiymatga ega bo'lgani uchun tebranish davri va elektromagnit to'lqin uzunligi katta bo'ladi:

$$\lambda = vT = 2\pi v\sqrt{LC}, \quad (12.12)$$



**13.3- Ochiq
tebranish konturi**

i

**13.4 rasm.
Dipolli elektr maydon
tebranishi**

To'lqin uzunligini qisqartirish uchun induktivlik va sig'im qiymatini qisqartirish kerak. Shu sababli, Gerts o'z tajribalarida g'altak o'rami va kondensator qoplamalari yuzasini kamaytirib, qoplamalar orasini kengaytirish hisobiga yopiq tebranish konturidan ochiq tebranish konturiga o'tish usulini topdi (12.4 - rasm, A, B). Natijada chaqnash oralig'i bilan ajralgan ikkita sterjenli (simli) tebranish konturini hosil qildi (4 - rasm, V). Agarda, yopiq tebranish konturida o'zgaruvchan elektr maydoni kondensator qoplamalari orasiga joylashgan bo'lsa (12.4 - rasm, A), ochiq tebranish konturida esa, o'zgaruvchan elektr maydoni kontur atrofidagi fazoni egallaydi (4 - rasm, B) va elektromagnit nurlanish jadalligini kuchaytiradi.

Ikkita sterjenli tebranish konturining uchlarga qarama-qarshi zaryadlar kiritilsa, sterjen atrofida elektr maydoni kuch chiziqlari hosil bo'ladi. Qarama-qarshi zaryadlar bir-biri bilan tortishib o'tkazgichda tok hosil qiladilar, bu tok o'z navbatida o'tkazgich atrofida elektr maydonini hosil qiladi. 5 - rasmda butun davrning $1/8$ qismiga tegishli zaryadlarning joylashishi keltirilgan. Rasmdan ko'rinishcha, bu o'z navbatida, dipol elektr maydoni tebranishini tasavvur etadi.

Vibratorning o'rtasida qarama-qarshi zaryadlar duch kelsa, ular bir-birini neytrallaydi va elektr kuch chiziqlarining uchlari zaryadlardan uziladi. Ajralgan elektr maydon kuch chiziqlari vibratorning barcha taraflariga tarqala boshlaydi. Gerts shunday vibrator orqali 100 mHz chastotali elektromagnit to'lqinlarni hosil qila oldi. Bu to'lqinlarning to'lqin uzunligi taxminan 3 m ga tengdir. Sterjenlarning

qalinligi va uzunligini yanada kamaytirish hisobiga P.N.Lebedov $l = 6/4$ mm li elektromagnit to'liqlarini hosil qildi.

Elektromagnit to'liqlar keng chastota spektri yoki to'liq uzunligiga ($\lambda = C/\nu$) ega bo'lib, bir-biridan generatsiya va qayd qilish usullari hamda o'zining xususiyatlari bilan farq qiladi.

To'liq uzunligi $0,1 \div 10^3$ m kenglikdagi elektromagnit to'liqlar radioaloqa va tasvirni uzatishda (uzun, o'rta, qisqa, ultraqisqa va detsimetrli radioto'liqlar) ishlatiladi. Elektromagnit to'liqlar shkalasi

1-jadval

Nurlanish turlari	To'liq uzunligi, m	To'liq chastotasi, Hz	Nurlanish manbalari
Radioto'liqlar	$10^{-4} - 10^3$	$3 \cdot 10^5 - 3 \cdot 10^{12}$	Tebranish konturi Gerts vibratori lampali generator
Yorug'lik to'liqlari:	$5 \cdot 10^{-4} - 10^{-9}$	$6 \cdot 10^{11} - 3 \cdot 10^{17}$	
Infraqizil	$8 \cdot 10^{-7} - 5 \cdot 10^{-6}$	$8 \cdot 10^{11} - 3,75 \cdot 10^{14}$	Lampalar
Ko'zga ko'rinadigan nurlar	$8 \cdot 10^{-7} - 4 \cdot 10^{-7}$	$3,75 \cdot 10^{14} - 7,5 \cdot 10^{14}$	Lazerlar
Ultrabinafsha nurlar	$10^{-9} - 4 \cdot 10^{-7}$	$7,5 \cdot 10^{14} - 3 \cdot 10^{17}$	Lazerlar
Rentgen nurlari	$6 \cdot 10^{-12} - 2 \cdot 10^{-9}$	$1,5 \cdot 10^{17} - 5 \cdot 10^{19}$	Rentgen trubalari
α -nurlanish	$< 6 \cdot 10^{-12}$	$> 5 \cdot 10^{19}$	Radioaktiv parchalanish,

			yadro jarayonlari, kosmik nurlanish
--	--	--	--

To'lqin uzunligi 10^{-8} to 10^{-4} m kenglikda bo'lgan elektromagnit to'lqinlar, uchta gruppada optik to'lqinlardan iboratdir: infraqizil, ko'zga ko'rinadigan ($7,6 \cdot 10^{-7}$ to $4 \cdot 10^{-4}$ m) va ultrabinafsha nurlardir.

Nihoyatda qisqa to'lqinli nurlar modda ichiga kirish xususiyatiga ega bo'lgan rentgen va gamma - nurlardan iborat.

Sinov so'vollar

1. Elektromagnit to'lqinlar shkalasini qanday tushinamiz .
2. Elektromagnit to'lqinlarning tarqalish tezligi qanday aniqlandi.
3. Elektromagnit to'lqin tenglamasi qanday ifodalanadi.
4. Elektromagnit to'lqin energiya zichligi va energiya oqimining zichligi.
5. Umov-Poyting vektori.
6. Elektromagnit to'lqinlarni qo'llanishi.

14-§. O'zgaruvchan elektr tokini tavsiflovchi tenglamalar

Asosiy tushunchalar va formulalar

Magnit maydonda ω siklik chastota bilan aylanayotgan ramkada (generatorida) hosil bo'ladigan o'zgaruvchan EYuK:

$$\varepsilon = \varepsilon_m \sin \omega t, \quad 13.1$$

bu yerda $\varepsilon_m = N S B \omega$ - o'zgaruvchan EYuK amplitudasi, N-ramkadagi o'ramlar soni, S-o'ramning yuzi, V-magnit maydon induksiyasi.

O'zgaruvchan tok generatorida bir sekunddagi tsikllar soni, ya'ni chastotasi :

$$f = \frac{pn}{60} \quad 13.2$$

p-juft qutblar soni, n-rotorning aylanish tezligi, ya'ni chastotasi. Faqat ezistorlardan tuzilgan o'zgaruvchan tok zanjiridagi kuchlanish u , tok i va quvvat P larning oniy qiymatlari va ular orasidagi munosabatlar:

$$u = U_m \cos \omega t; \quad i = I_m \cos \omega t; \quad p = I_m U_m \sin^2 \omega t; \quad 13.3$$

$$\frac{u}{i} = \frac{U_m}{I_m} = R; \quad p = ui = i^2 R = \frac{u^2}{R}; \quad 13.4$$

bu yerda U_m , I_m -kuchlanish va tokning amplitudalari, R -zanjarning qarshiligi (aktiv qarshilik).

$$\bar{p} = \frac{I_m U_m}{2} = \frac{I_m^2 R}{2} = \frac{U_m^2}{2R}; \quad 13.5$$

Quvvatning o'rtacha qiymati

O'zgaruvchan tok kuchining va kuchlanishining effektiv qiymati va ular orasidagi bog'lanish:

$$I = I_m / \sqrt{2}; \quad U = U_m / \sqrt{2}; \quad U = IR; \quad I = U / R; \quad 13.6$$

O'zgaruvchan tokning quvvati (zanjirning aktiv qarshilikli qismidagi):

$$P = \bar{p} = UI = I^2 R = U^2 / R. \quad 13.7$$

Faqat kondensatordan tuzilgan o'zgaruvchan tok zanjiridagi kuchlanish u , tok i va quvvat P larning oniy qiymatlari:

$$u = U_m \cos \omega t; \quad i = -I_m \sin \omega t = I_m \cos(\omega t + \frac{\pi}{2}); \quad 13.8$$

$$p = -\frac{I_m U_m}{2} \sin 2\omega t; \quad \bar{p} = 0. \quad 13.9$$

Tok kuchi va kuchlanishning amplitudalari orasidagi bog'lanish:

$$I_m = \frac{U_m}{X_c}; \quad U_m = I_m X_c; \quad X_c = \frac{1}{\omega C}; \quad 13.10$$

bu yerda X_c -sig'im qarshilik, C -kondensatorning sig'imi. Tok kuchi va kuchlanishning effektiv qiymatlari uchun ham shu munosabatlar o'rinli.

Faqat induktiv g'altakdan (aktiv qarshiliksiz) tuzilgan o'zgaruvchan tok zanjiridagi kuchlanish u , tok i va quvvat P larning oniy qiymatlari:

$$u = U_m \cos \omega t, \quad i = I_m \sin \omega t = I_m \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right); \quad 13.11$$

$$p = \frac{I_m U_m}{2} \sin 2\omega \cdot t, \quad \bar{p} = 0; \quad 13.12$$

Tok kuchi va kuchlanishning amplitudalari orasidagi bog'lanish:

$$I_m = \frac{U_m}{X_L}; \quad U_m = I_m X_L; \quad X_L = \omega L; \quad 13.13$$

bu yerda X_L -induktiv qarshilik, L -g'altakning induktivligi. Tok kuchi va kuchlanishning effektiv qiymatlari uchun ham shu munosabatlar o'rinli.

Ketma-ket ulangan rezistor, kondensator va g'altakdan iborat o'zgaruvchan tok zanjiridagi kuchlanish u , tok i va quvvat P larning oniy qiymatlari:

$$u = U_m \cos \omega t, \quad i = I_m \cos(\omega t - \varphi), \quad p = \frac{I_m U_m}{2} \cos(2\omega \cdot t - \varphi); \quad 13.14$$

bu yerda

$$\varphi = \arctg \frac{\omega L - 1/\omega C}{R} = \arctg \frac{X_L - X_C}{R} \quad 13.15$$

φ -kuchlanish va tok kuchi tebranishlari orasidagi fazalar farqi. Agar $X_L > X_C$ bo'lsa, tok faza bo'yicha kuchlanishdan orqada qoladi ($\varphi > 0$) va agar $X_L < X_C$ bo'lsa, tok faza bo'yicha kuchlanishdan oldinda bo'ladi ($\varphi < 0$).

Tok kuchi va kuchlanishning amplitudalari (va effektiv qiymatlari I va U) orasidagi bog'lanish:

$$I_m = \frac{U_m}{Z}; \quad U_m = Z I_m; \quad I = \frac{U}{Z}; \quad U = Z I; \quad 13.16$$

bu yerda

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \quad 13.17$$

Z -o'zgaruvchan tok zanjirining to'la qarshiligi (impedansi).

O'zgaruvchan tokning quvvati:

$$P = \bar{p} = \frac{I_m U_m}{2} \cos \varphi = UI \cos \varphi \quad 13.18$$

Bu ifodaga kirgan $\cos \varphi = R / \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \frac{R}{Z}$ ko'paytma quvvat koeffitsienti deb ataladi.

O'zgaruvchan tok zanjiriga parallel ulangan R aktiv qarshilik, L induktivli g'altak va C sig'imli kondensator uchun Om qonuni.

$$I_0 = \sqrt{I_{0R}^2 + (I_{0C} - I_{0L})^2} = U_0 \sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{X_C} - \frac{1}{X_L}\right)^2} = U_0 \sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)^2} \quad 13.19$$

bunday zanjirning to'la qarshiligi:

$$Z = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{X_C} - \frac{1}{X_L}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)^2}} \quad 13.20$$

Kuchlanish va tok kuchi orasidagi fazalar farqi:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{I_C - I_L}{I_R} = R \left(\omega C - \frac{1}{\omega L} \right) \quad 13.21$$

$$\cos \varphi = \frac{I_R}{I} = \frac{\frac{1}{R}}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{X_C} - \frac{1}{X_L}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + R^2 \left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)^2}} \quad 13.22$$

quvvat koeffitsienti:

Transformatorning transformatsiya koeffitsienti:

$$K = \frac{N_1}{N_2} \approx \frac{U_1}{U_2} \approx \frac{I_2}{I_1}, \quad 13.23$$

bu yerda N_1 va N_2 -transformatorning birlamchi va ikkilamchi g'altaklaridagi o'ramlari soni, U_1 va U_2 birlamchi va ikkilamchi g'altaklardagi kuchlanish, I_1 va I_2 -birlamchi va ikkilamchi g'altaklardagi toklar.

Transformatorning foydali ish koeffitsienti:

$$\eta = \frac{I_2 U_2}{I_1 U_1} \cdot 100\% = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\% \quad 13.24$$

Masala yechish namunalari

1-misol. O'zgaruvchan tok generatoriga ketma-ket 20 Om aktiv qarshilikli nagruzka, 0,0398 H induktivligi g'altak va 159 mkF sig'imli kondensator ulangan. Berilgan uchastkalardagi va butun zanjirdagi kuchlanishni aniqlang. Tok va kuchlanish orasidagi faza siljishi nimaga teng? Zanjirning to'la qarshiligini toping. Sig'im va induktiv qarshiliklar o'zaro teng bo'lganda nima bo'ladi? O'zgaruvchan tokning chastotasi 100 Hz, tok kuchi esa 2 A ga teng. Vektor diagrammani yasang.

Berilgan: $R=20$ Om-aktiv qarshilik; $L=0,0398\text{H}=3,98\cdot 10^{-2}\text{H}$ -g'altakning induktivligi; $C=159$ mkF= $1,59\cdot 10^{-4}$ F-kondensatorning sig'imi; $\nu=100$ Hz-o'zgaruvchan tokning chastotasi; $I=2$ A-tok kuchining haqiqiy qiymati.

Topish kerak: U_R , U_L , U_C , U – mos ravishda qarshilikdagi, induktivlik g'altagidagi, kondensatordagi va butun zanjirdagi kuchlanishni, φ -zanjirdagi kuchlanish va tok kuchi orasidagi faza siljishini; Z -zanjirning to'la qarshiligini.

Yechilishi. Induktivlik g'altagi va kondensatorning qarshiligini $X_L=\omega L$; $X_C=1/\omega C$ formulalardan topamiz.

Zanjirning to'la qarshiligi quyidagiga teng:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}$$

Ketma-ket ulashda zanjirning barcha elementlari orqali bir xil tok o'tadi, butun zanjirning kuchlanishi esa alohida qismlardagi kuchlanishlar yig'indisiga teng bo'ladi.

Aktiv qarshilikdagi kuchlanish

$$U_R=IR$$

ga teng va tok bilan faza jihatdan mos tushadi. Induktivlik g'altagidagi kuchlanish

$$U_L=I\omega L$$

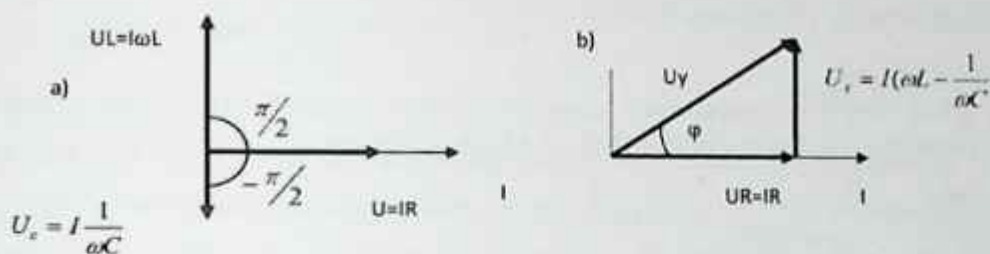
ga teng, tokdan faza jihatdan $\pi/2$ ga o'zib ketadi.

Kondensatordagi kuchlanish.

$$U_C=I/(\omega C)$$

ga teng, tokdan faza jihatdan $\pi/2$ ga orqada qoladi.

To'la kuchlanishni vektor diagramma yordamida topamiz. Buning uchun tekislikda nol nuqta tanlaymiz va undan gorizontaal vektor – tok chizig'ini chiqaramiz, so'ngra bu chiziqqa nisbatan kuchlanish vektorlarini yasaymiz (15.1-a rasm).



12.1-rasm

Aktiv qarshilikdagi kuchlanish vektori U_R ni nol nuqtadan toklar o'qi bo'ylab yotqizamiz, chunki uning uchun faza siljishi nolga teng. Induktivlik g'altigidagi kuchlanish vektori U_L ni yasaymiz. Burchak, odatda, soat strelkasi harakatiga teskari yo'nalishda sanab ajratiladi, shuning uchun kuchlanish vektorini nol nuqtadan toklar o'qiga perpendikulyar ravishda yuqoriga qarab yo'naltiramiz.

Kondensatordagi kuchlanish vektori U_C ni nol nuqtadan toklar o'qiga perpendikulyar ravishda pastga qarab yo'naltiramiz.

Uchchala vektorning geometrik yig'indisi zanjirdagi to'la kuchlanishni beradi. Avval vertikal bo'yicha yo'nalgan vektorlarni qo'shish kerak, natijada kuchlanishlar uchburchagi (15.1-b rasm) hosil bo'lib, undan kuchlanish va faza siljishini osongina topish mumkin:

$$U_X = U_L - U_C;$$

$$U = \sqrt{U_R^2 + U_X^2} = I \sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2};$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega L - 1/\omega C}{R} = \frac{U_X}{U_R}.$$

Agar $\omega L = 1/\omega C$ bo'lsa, u holda reaktiv qarshilik nolga teng bo'ladi. Bu hodisa $\omega_0^2 = 1/(LC)$ formuladan aniqlanuvchi, $\omega = \omega_0$ chastotada ro'y beradi. Bunda zanjirning qarshiligi minimal va aktiv qarshilikka teng bo'ladi $Z = R$, tok kuchi esa maksimal qiymatga erishadi. Bu hodisa kuchlanish rezonansi deb, ω_0 esa rezonans burchak chastota deb ataladi.

Hisoblaymiz:

$$U_R = 2 \text{ A} \cdot 20 \text{ Ohm} = 40 \text{ V};$$

$$U_L = 2 \text{ A} \cdot 2\pi \cdot 100 \text{ s}^{-1} \cdot 0,0398 \text{ H} = 50 \text{ V}.$$

$$U_C = 2 \text{ A} / (2\pi \cdot 100 \text{ s}^{-1} \cdot 1,59 \cdot 10^{-4} \text{ F}) = 20 \text{ V};$$

$$U = \sqrt{(40 \text{ V})^2 + (30 \text{ V})^2} = 50 \text{ V};$$

$$X_L - X_C = 2\pi \cdot 100 \text{ s}^{-1} \cdot 0,398 \text{ H} - (2\pi \cdot 100 \text{ s}^{-1} \cdot 1,59 \cdot 10^{-4} \text{ F}) \cdot 1 = 15 \text{ Ohm},$$

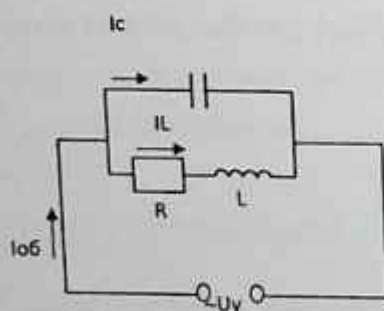
$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{15 \text{ Ohm}}{20 \text{ Ohm}} = 0,75; \varphi = 36^\circ 52'.$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \frac{U}{I} = \frac{50 \text{ V}}{2 \text{ A}} = 25 \text{ Ohm}$$

javobi: Aktiv qarshilikdagi, g'altakdagi va kondensatordagi kuchlanish mos ravishda $U_R=40$, $U_L=50$, $U_C=20$ V ga, to'la kuchlanish $U=50$ V ga teng; faza siljishi $\varphi=36^\circ 52'$, to'la qarshilik $Z=25$ Ohm; induktiv va sig'im qarshiliklar o'zaro teng bo'lganda rezonans boshlanadi.

2-misol. 20 Hz chastotada 80 V kuchlanish beradigan generatorga o'zaro parallel ravishda ulangan induktivlik g'altagi va 750 mkF sig'imli kondensator ulandi. G'altak 1 Ohm aktiv qarshilikka va 0,1H induktivlikka ega (15.2-rasm).

Tarmoqlaridagi tok kuchini va butun zanjirdagi to'la tok kuchini aniqlang. Qanday



13.1-rasm

shart bajarilganda konturda rezonans boshlanadi? Agar $\omega L_2 \gg R_2$ bo'lsa, zanjirning rezonans paytidagi qarshiligini toping.

Berilgan: $U=80$ Bzanjirdagi kuchlanish; $\nu=20$ Hz- chastota; $C=750$ mkF= $7,5 \cdot 10^{-4}$ F- kondensatorning sig'imi, $L=0,1$ H, $R=1$ Ohm g'altakning induktivligi va qarshiligi.

Topish kerak: I_C , I_L , I -mos ravishda tarmoqlardagi va butun zanjirdagi tok kuchini; rezonans shartini; Z-konturning rezonans paytidagi qarshiligini.

Yechilishi. Oldin induktivlikka ega bo'lgan tarmoqni qaraymiz. Uning uchun 1-misolda yasalgandek vektor diagrammasini yasaymiz (15.3-rasm).

15.3-rasmdan U va φ_L ni osongina topamiz:

$$U = I_L \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}; \quad \operatorname{tg} \varphi_L = \frac{\omega L}{R}.$$

Parallel ulashda (15.2-rasmga qarang) har qaysi tarmoqdagi kuchlanish U bir xil bo'ladi, tok kuchi I esa parallel tarmoqlardagi tok kuchlarining yig'indisiga teng bo'ladi. Parallel tarmoqlardagi toklar har xil fazaga ega bo'ladi, binobarin, ularni vektorlar diagrammasi yordamida qo'shish lozim. Kuchlanishlar o'qini o'tkazamiz (15.4-rasm). Induktivlik qatnashgan tarmoqdagi tok kuchi

$$I_L = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}}$$

qiymatga ega bo'ladi va kuchlanishdan φ_L qadar orqada qoladi.

Kondensator orqali o'qituvchi tok kuchi $I_C = U\omega C$ ta teng va kuchlanishdan $\pi/2$ ga o'zib ketadi. Kuchlanishlar o'qidan φ burchakka burilgan vektor I bu ikki vektorni qo'shishdan hosil bo'lgan natijaviy vektor hisoblanadi.

I ni kosinuslar teoremasidan aniqlash mumkin:

$$I^2 = I_L^2 + I_C^2 - 2I_L I_C \cos \alpha.$$

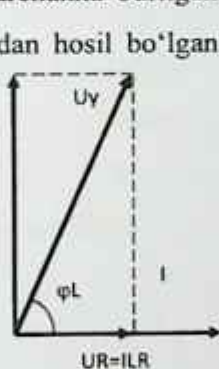
Trigonometriyadan

ma'lumki, $\sin \varphi_L =$

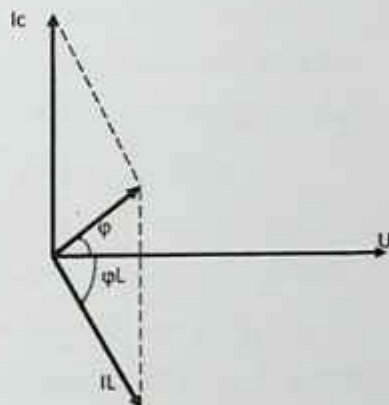
$$\frac{\operatorname{tg} \varphi_L}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi_L}} = \frac{\omega L}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}}, \quad \text{chunki } \operatorname{tg} \varphi_L = \frac{\omega L}{R} \quad (15.3\text{-rasmga qarang});$$

$$\cos \varphi_L = \frac{I}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi_L}} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}}. \quad \alpha = \pi/2 - \varphi_L \text{ bo'lganidan, } \cos \alpha = \sin \varphi_L.$$

$$\text{Shunday qilib, } I^2 = I_L^2 + I_C^2 - 2I_L I_C \frac{\omega L}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}}.$$



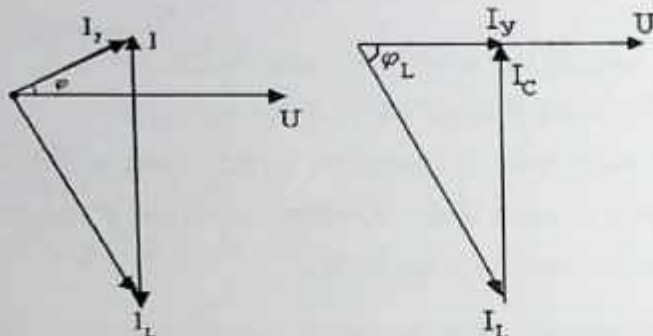
15.3-rasm



15.4-rasm

φ burchakni I va IL ning kuchlanishlar o'qiga proyeksiyasining o'zaro tengligidan topiladi:

$$I \cos \varphi = IL \cos \varphi_L; \quad \cos \varphi = \frac{I_L}{I} \cos \varphi_L.$$



Vektorlarni 15.6-rasm

qo'shish ko'pincha boshqacha ko'rinishda amalga oshirilsa ancha qulayroq bo'ladi. Bunda koordinata boshidan hamma vektorlar emas, balki faqat birinchi vektor chiqariladi. Keyingi har bir vektor oldingisining oxirgi uchidan chiqariladi. Natija esa birinchi vektorning boshidan chiqib, eng keyingi vektorning oxirgi uchiga boruvchi vektorga teng. Biz qarayotgan masala uchun bunday yasash toklar uchburchagini (15.5-rasm) beradi, hisoblash esa avvalgicha qoladi.

Agar zanjirdagi parametr ω , C , L lardan birontasi o'zgartirilsa, u holda to'la tok va faza siljishi φ o'zgaradi. ω , C va L orasidagi ba'zi munosabatda faza siljishi nolga teng bo'ladi (15.6-rasm). Bunda tok I minimal bo'ladi, binobarin, konturning sof aktiv bo'lib qolgan qarshiligi esa ortadi. Bunday hodisa tok rezonansi deb ataladi. 15.6-rasmdan rezonans shartini topamiz:

$$IC = IL \sin \varphi_L.$$

Bu yerga IC , IL , $\sin \varphi_L$ ning qiymatlarini qo'yib, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$U\omega C = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}} \frac{\omega L}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}}.$$

Induktivlik g'altaklarda odatda, induktiv qarshilik aktiv qarshilikka nisbatan ancha katta bo'ladi: $\omega L \gg R$, $\omega^2 L^2 \gg R^2$. Oxirgi tenglikda R^2 ni tashlab yuborib va qisqartirishlar bajarib, tok rezonansi shartini hosil qilamiz.

$$\omega^2 = \omega_0^2 = \frac{1}{LC}$$

Konturning qarshiligini topamiz. 15.6-rasmdan quyidagi formula kelib chiqadi:

$$I = I_L \cos \varphi_L = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \omega_0^2 L^2}} \frac{R}{\sqrt{R^2 + \omega_0^2 L^2}}$$

$$\omega_0^2 L^2 \gg R^2 \text{ ekanligini hisobga olib, } I = \frac{UR}{\omega_0^2 L^2} = \frac{URC}{L} \text{ ga ega bo'lamiz, bundan } Z = \frac{L}{RC}$$

Hisoblaymiz:

$$I_L = \frac{80}{\sqrt{(1)^2 + (2\pi \cdot 20 \cdot 0,1)^2}} = 6,35 \text{ A};$$

$$I_C = 80 \cdot 2\pi \cdot 20 \cdot 7,5 \cdot 10^{-4} = 7,54 \text{ A};$$

$$\cos \alpha = \frac{2\pi \cdot 20 \cdot 0,1}{\sqrt{(1)^2 + (2\pi \cdot 20 \cdot 0,1)^2}} = 0,997;$$

$$I = \sqrt{(6,35 \text{ A})^2 + (7,54 \text{ A})^2 - 2 \cdot 6,35 \text{ A} \cdot 7,54 \text{ A} \cdot 0,997} = 1,28 \text{ A}.$$

Rezonans chastota

$$\nu_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{0,1 \cdot 7,5 \cdot 10^{-4}}} = 18,4 \text{ Hz}.$$

To'la qarshilik

$$Z = \frac{0,1}{1 \cdot 7,5 \cdot 10^{-4}} = 133 \text{ Om}.$$

javobi. G'altak va kondensator orqali oquvchi tok kuchi mos ravishda $I_L=6,35$ va $I_C=7,54$ A ga; to'la tok $I=1,28$ A ga teng; rezonans $\nu=18,4$ Hz chastotada sodir bo'ladi, bunda konturning qarshiligi $Z=133$ Om ga teng bo'ladi.

3-misol. 220 V kuchlanishga mo'ljallangan shahar elektr tarmog'iga quvvati 200 W bo'lgan va 240 V kuchlanishga mo'ljallangan elektr lampochka, 0,15 H induktivlikli g'altak va kondensator ketma-ket ulandi. Agar zanjirda ajraladigan aktiv quvvat to'la quvvatning yarmiga teng bo'lsa, kondensatorning sig'imi qanday? Zanjirdagi tok kuchini, zanjir qismlaridagi kuchlanishni, aktiv, reaktiv va to'la quvvatni, quvvat koeffisientini toping.

Berilgan: $U=220V$ -tarmoq kuchlanishi, $\nu=50$ Hz-o'zgaruvchan tok chastotasi, $U_l=240V$, $P_l=200W$ -mos ravishda lampochkaning nominal kuchlanishi va quvvati, $L=0,15$ H-g'altakning induktivligi, $P=0,5S$ aktiv va to'la quvvat orasidagi munosabat. Topish kerak: C-kondensatorning sig'imini, I-zanjirdagi tok kuchini, U_R , U_L , U_C -mos ravishda lampochkadagi, induktivlik g'altagidagi va kondensatordagi kuchlanishni, P , Q , S -aktiv, reaktiv va to'la quvvatni, $\cos\varphi$ -quvvat koeffisientini.

Yechilishi. $P_n = \frac{U_n^2}{R}$ ekanligini bilgan holda lampochkaning qarshiligini topamiz:

$$R = \frac{U_n^2}{P_n} = \frac{240^2}{200} = 288 \text{ Om.}$$

$P=0,5S$ munosabatni bilgan holda quvvat koeffisientini aniqlaymiz: $\cos\varphi =$

$$\frac{P}{S} = \frac{0,5S}{S} = 0,5.$$

Kondensatorning sig'imini aniqlash uchun induktiv va sig'im qarshiliklarini topish kerak:

$$X_L = 2\pi\nu L; \quad X_L = 2\pi \cdot 50\text{Hz} \cdot 0,15 \text{ H} = 47,1 \text{ Om.}$$

$$\frac{R}{Z} = \frac{P}{S}; \quad R = 0,5Z = 0,5\sqrt{R^2 + (X_C - X_L)^2}.$$

Kvadratga oshirgandan keyin quyidagiga ega bo'lamiz:

$$4R^2 = R^2 + (X_C - X_L)^2; \quad 3R^2 = (X_C - X_L)^2. \quad U \text{ holda}$$

$$X_C = R\sqrt{3} + X_L; \quad X_C = 288 \text{ Om} \sqrt{3} + 47,1 \text{ Om} = 546 \text{ Om};$$

$$S = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 546} = 5,83 \cdot 10^{-6} \text{ F} = 5,83 \text{ mkF.}$$

To'la qarshilik

$$Z = \sqrt{(288)^2 + (546 - 47,1)^2} = 576 \text{ Om ga teng.}$$

Endi zanjirdagi tok kuchini topamiz:

$$I = \frac{U}{Z}; \quad I = \frac{220}{576} = 0,38 \text{ A.}$$

Zanjirning barcha elementlaridagi kuchlanishni quyidagi formulalardan topamiz:

$$U_R = IR; U_C = IX_C; U_L = IX_L; U_R = 0,38 \text{ A} \cdot 288 \text{ Ohm} = 109,4 \text{ V};$$

$$U_C = 0,38 \text{ A} \cdot 546 \text{ Ohm} = 207,5 \text{ V}; U_L = 0,38 \text{ A} \cdot 47,1 \text{ Ohm} = 17,9 \text{ V}.$$

Endi quvvatlarni topamiz: to'la quvvat: $P = IU$;

$$P = 0,38 \text{ A} \cdot 220 \text{ V} = 83,6 \text{ V} \cdot \text{A}; \text{ Aktiv quvvat } P = 0,5 \text{ S}; P = 41,8 \text{ W};$$

$$\text{Reaktiv quvvat: } Q = S \sin \varphi = S \sqrt{1 - \cos^2 \varphi} = \frac{\sqrt{3}}{2} S;$$

$$Q = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 83,6 \text{ V} \cdot \text{A} = 72,4 \text{ var}.$$

javobi. Kondensatorning sig'imi $C = 5,83 \text{ mkF}$; zanjirdagi tok kuchi $I = 0,38 \text{ A}$; lampadagi, induktivlik g'altagidagi va kondensatordagi kuchlanish mos ravishda $U_R = 109,4$; $U_L = 17,9$ va $U_C = 207,5 \text{ V}$ ga; aktiv, reaktiv va to'la quvvat mos ravishda $P = 41,8 \text{ W}$, $Q = 72,4 \text{ var}$ va $S = 83,6 \text{ A} \cdot \text{V}$ ga teng; quvvat koeffisienti $\cos \varphi = 0,5$.

Savol va masalalar

13.1. O'zgaruvchan tok kuchi uchun O'zbekistonda qabul qilingan standart chastota 50 Hz ga teng. Tebranish davrini aniqlang. Zaryad tashuvchilarning harakat yo'nalishi sekundiga necha marta o'zgaradi?

13.2. O'zgaruvchan tok zanjiriga ulangan ampermetr 3 A ko'rsatadi. Tok kuchining amplituda qiymati nimaga teng?

13.3. Kondensatorning teshilish kuchlanishi 250 V . Uni 220 V kuchlanishli shahar tarmog'iga ulash mumkinmi?

13.4. O'zgaruvchan tok zanjirdagi elektr yurituvchi kuchi $e = 250 \sin 100\pi t$ formula bo'yicha o'zgaradi. EYuK ning haqiqiy qiymatini va doiraviy chastotani aniqlang.

13.5. O'zgaruvchan tok kuchining vaqtga bog'liqligi $i = 90 \sin(314t + \pi/4)$ tenglama bilan aniqlanadi. Tok kuchining haqiqiy qiymatini, fazani, boshlang'ich fazani va chastotani aniqlang.

13.6. Tok zanjirida kuchlanish $u = 400 \sin 100\pi t$ (V) qonun bo'yicha o'zgaradi. Qarshiligi 5 Ohm bo'lgan rezistordagi tok kuchining amplituda qiymati nimaga teng.

13.7. Kuchlanishning oniy qiymati $u=179\sin\omega t$ formuladan topiladi. Quyidagi vaqt momentlari uchun kuchlanishning oniy qiymatlarini aniqlang: 0; 0,0025; 0,005; 5/6; 4/3; 0,015; 0,0175; va 0,02 s. O'zgaruvchan tok chastotasi 50 Hz.

13.8. Tok kuchining oniy qiymati 1/3 davrdan so'ng 2,6 A ga teng. Tok kuchi: a) $1,5\pi$; b) $13\pi/6$ fazalarda qanday bo'ladi?

13.9. Sim ramka bir jinsli magnit maydonda magnit induksiya chiziqlariga perpendikulyar bo'lgan o'qqa nisbatan tekis aylanmoqda. Ramkaning qanday vaziyatida induksiya EYuK: a) nolga, b) amplituda qiymatiga teng bo'ladi?

13.10. Uzunligi 10 sm va kengligi 5 sm bo'lgan to'g'ri to'rtburchakli ramka 0,02 T induksiyali bir jinsli magnit maydonda tekis aylanmoqda. Ramkaning aylanish tezligi 2865 ayl/soat. Ramkada hosil bo'luvchi induksiya EYuK ning amplitudasini aniqlang.

13.11. Agar 0,115 T induksiyali bir jinsli magnit maydonda tekis aylanayotgan ramkaning uchlariga ulangan voltmetr 90 V ni ko'rsatsa, ramka qancha o'ramdan tarkib topgan bo'ladi? Ramkaning yuzi 367 sm² ga teng. Ramkaning aylanish davri 2,5·10⁻² s.

13.13. Yuzy 200 sm² bo'lgan va 15 o'ramdan tashkil topgan ramka bir jinsli magnit maydonda 10 ayl/s tezlik bilan aylanmoqda. ramka magnit yo'nalishiga nisbatan 300 burchak ostida joylashganda unda hosil bo'luvchi induksiya EYuK 0,75 V ga teng bo'ladi. Magnit maydoning induksiyasi nimaga teng?

13.13. Yuzy 150 sm² bo'lgan va ustiga simdan o'nta o'ram o'ralgan yog'och ramka 0,05 T induksiyali bir jinsli magnit maydonda tekis aylanmoqda. 15.7-rasmda ramkaning $t=0$ dagi vaziyati ko'rsatilgan. Hosil bo'ladigan o'zgaruvchan tokning chastotasi 10 Hz. Induksiya EYuK ning amplitudasini, doiraviy chastotasini, davrini va boshlang'ich fazasini aniqlang. EYuK ning oniy qiymati uchun tenglama yozing.

13.14. $2,55 \cdot 10^{-3}$ H induktivlikni o'tkazgichni 50 Hz chastotali tarmoqdan uzib, 300 Hz chastotali tarmoqqa ulanadi. Uning qarshiligi o'zgardimi? Agar o'zgargan bo'lsa necha marta? O'zgarmas tok zanjirida uning qarshiligi nimaga teng bo'ladi?



15.7-rasm

13.15. $8,42 \cdot 10^{-3}$ H induktivlikli g'altak 3 Om aktiv qarshilikka ega. Ushbu g'altakning qarshiligi 50 Hz chastotali o'zgaruvchan tok zanjirida va o'zgarmas tok zanjirida nimaga teng?

13.16. 0,3 H induktivlikli g'altakni 24 V kuchlanishli o'zgarmas tok zanjiriga ulanganda unda 0,2 A tok kuchi qaror topdi. Ushbu g'altakni 50 Hz chastotali o'zgaruvchan tok zanjiriga ulanganda uning to'la qarshiligi qanday bo'lishini aniqlang.

13.17. Sig'imi 100 pF bo'lgan kondensatorni o'zgarmas tok zanjiriga ulanganda uning qarshiligi qanday bo'ladi?

13.18. 50 va 3000 Hz chastotali o'zgaruvchan tok zanjiriga ulangan sig'imi 100 mkF bo'lgan kondensatorning qarshiligini aniqlang.

13.19. Chastotasi 400 Hz bo'lgan o'zgaruvchan tok zanjiriga ketma-ket 0,15 Gn induktivlik g'altak, 500 Om qarshilikli rezistor va 2 mkF sig'imli kondensator ulandi. Zanjirning to'la qarshiligini aniqlang.

13.20. Shahar elektr tarmog'iga ulangan zanjirning to'la qarshiligini aniqlang. Zanjir 500 va 1000 mkF sig'imli ketma-ket ulangan ikkita kondensator hamda 10 Om aktiv qarshilikli va 0,08H induktivlikli g'altakdan tarkib topgan.

13.21. Sig'imi 530 mkF bo'lgan kondensator va unga ketma-ket ulangan 5 Om qarshilikli reostat 50 Hz chastotali va 220 V kuchlanishli tarmoqqa ulangan. Reostat orqali o'tuvchi tok kuchini aniqlang.

13.22. Kuchlanish 220 V bo'lgan va 50 Hz chastotali tarmoqqa kondensator ulangan. Zanjirdagi tok kuchining amplituda qiymati 4,89 A. Kondensatorning sig'imi qanday?

13.23. Induktivligi 0,2 H bo'lgan g'altak 100 Hz chastotali o'zgaruvchan tok zanjiriga ulangan. G'altakdagi tok kuchi 1,01 A. G'altakdagi kuchlanish nimaga teng? Kuchlanishning amplituda qiymati qanday?

13.24. O'zgaruvchan sig'imli kondensator va unga ketma-ket ulangan o'zakli g'altakka 80 V kuchlanish beriladi. Bunda zanjirdagi tok kuchi 4 A ga tengligi aniqlanadi. Agar kondensatorning sig'imini va g'altakning induktivligini ikki marta kamaytirilganda tok kuchi 20 A gacha ortsa, zanjirning elementlardagi kuchlanishni aniqlang. Agar dastlabki induktivlik $1,91 \cdot 10^{-2}$ H bo'lsa, chastota nimaga teng?

13.25. 120 V kuchlanishli va 50 Hz chastotali o'zgaruvchan tok zanjiriga quyidagi elementlar ketma-ket ulangan: a) $R=60\ \Omega$, $L=0,255\ \text{H}$; b) $R=3,8\ \Omega$, $C=2,27 \cdot 10^{-3}\ \text{F}$; v) $L=0,0764\ \text{H}$, $C=398\ \mu\text{F}$. Zanjirning qarshiligini, undagi tok kuchini, zanjir qismlaridagi kuchlanishni aniqlang.

13.26. Chastotasi 50 Hz bo'lgan 220 V o'zgaruvchan kuchlanish quyidagi ketma-ket ulangan elementlarga berildi: a) $R=5\ \Omega$, $L=0,135\ \text{H}$, $C=75\ \mu\text{F}$; b) $R=30\ \Omega$, $L=0,2\ \text{H}$, $C=97\ \mu\text{F}$. To'la qarshilikni, zanjir qismlaridagi tok kuchi va kuchlanishni aniqlang.

13.27. O'zgaruvchan kuchlanishi 36 V bo'lgan generatorga quyidagi elementlar parallel ulanadi: a) $R=3\ \Omega$, $X_L=4\ \Omega$; b) $R=1\ \Omega$, $X_C=2\ \Omega$; v) $X_C=2\ \Omega$, $X_L=4\ \Omega$. O'zgaruvchan tok chastotasi 50 Hz. Zanjirning tarmoqlaridagi va tarmoqlanmagan qismidagi tok kuchini aniqlang.

13.28. O'zgaruvchan kuchlanishi 36 V bo'lgan generatorga quyidagi elementlar parallel ulanadi: Zanjirning tarmoqlaridagi va umumiy qismidagi tok kuchini aniqlang
a) $R=6\ \Omega$, $X_L=3\ \Omega$, $X_C=3\ \Omega$; b) $R=9\ \Omega$, $X_L=10\ \Omega$, $X_C=4,8\ \Omega$; v) $R=4\ \Omega$, $X_L=2\ \Omega$, $X_C=6\ \Omega$. O'zgaruvchan tok chastotasi 50 Hz.

13.29. Chastotasi 50 Hz bo'lgan zanjirga $0,00636\ \text{H}$ induktivlikli g'altak ulanadi. Rezonans hosil bo'lishi uchun zanjirga qanday sig'imli kondensator ulash lozim?

13.30. Hidroelektr stantsiyalarga mo'ljallangan generatorlar qanday maqsadlarda ko'p qutbli qilinadi?

13.31. Hidrogenerator rotori minutiga 150 aylanish bajaradi. Generator ishlab chiqaradigan tok 50 Hz chastotaga ega bo'lishi uchun uning rotorida necha juft magnit qutblari bo'lishi lozim?

13.32. Agar kondensatorning sig'imi $2,5 \cdot 10^{-5}\ \text{F}$, g'altakning induktivligi esa $0,1\ \text{H}$ bo'lsa, ketma-ket ulangan zanjirda rezonans boshlanadigan o'zgaruvchan tok chastotasini aniqlang.

13.33. Transformatorning birlamchi cho'lg'ami o'zgarmas kuchlanish zanjiriga ulandi. Bunda ikkilamchi cho'lg'amga ulangan lampochka yonadimi?

15.34. Transformatorni 220 V kuchlanishli o'zgaruvchan tok tarmog'iga ulanganda uning ikkilamchi cho'lg'amida 110 V induksiya EYuK hosil bo'ladi. Transformatsiya koeffisienti nimaga teng?

13.35. Transformatsiya koeffisienti 10 ga teng. Transformatorning birinchi cho'lg'amidagi o'ramlar soni uning ikkinchi cho'lg'amidagi o'ramlar sonidan necha marta ko'p?

13.36. Transformatorning 1900 o'ramga ega bo'lgan ikkilamchi cho'lg'amida 600 V EYuK hosil bo'ladi. Agar transformator 220 V kuchlanishli tarmoqqa ulangan bo'lsa, uning birlamchi cho'lg'amida qancha o'ram bor?

13.37. Transformator 120 V kuchlanishli tarmoqqa ulangan. Uning birlamchi cho'lg'ami 300 o'ramga ega. Ikkilamchi cho'lg'amning uchlaridagi kuchlanish 6,4 V bo'lishi uchun u qancha o'ramga ega bo'lishi kerak?

13.38. Zanjirning 0,1 Gn induktivlikli g'altak va 20 mkF sig'imli kondensatordan tarkib topgan qismiga 50 Hz chastotali 60 V kuchlanish berildi. Zanjirda bir davr davomida ajraladigan o'rtacha quvvat qanday? Reaktiv va to'la quvvat nimaga teng?

13.39. Ketma-ket ulangan rezistor, kondensator va g'altak orqali o'zgaruvchan tok o'tmoqda. Ularning qarshiliklari mos ravishda 2; 3 va 5,6, 7 Om ga teng. Agar tok kuchi 6 A bo'lsa, aktiv, reaktiv va to'la quvvatlarni aniqlang. Quvvat koeffisienti nimaga teng? Zanjirga berilgan kuchlanish qanday?

13.40. Ketma-ket ulangan zanjirdagi kuchlanish 2 A tok kuchida 90 V ga teng. Zanjir kondensator, g'altak va rezistordan tarkib topgan. Quvvat koeffisienti 0,6. Aktiv va reaktiv quvvatlar nimaga teng? Agar kondensatorning qarshiligi g'altakning qarshiligidan ikki marta katta bo'lsa, zanjir elementlarining qarshiligi nimaga teng?

13.41. O'zgaruvchan kuchlanish manbai $u=180\sin\omega t$ aktiv va reaktiv qarshiliklarga ega bo'lgan, tarmoqlanmagan zanjirga ulangan. Reaktiv qarshilik $X_L=8$ Om, $X_C=12$ Om. Agar zanjirdagi tok kuchi 3 A ga teng bo'lsa, quvvat koeffisientini, aktiv va reaktiv quvvatlarini aniqlang.

13.42. 100 V o'zgaruvchan kuchlanish mos ravishda 50 va 55 Om qarshiliklarga ega bo'lgan va o'zaro parallel ulangan rezistor va kondensatorga berildi. To'la, aktiv va reaktiv quvvatlarni aniqlang. Quvvat koeffisienti nimaga teng?

13.43. 50 Hz chastotali 60 V o'zgaruvchan kuchlanish manbaiga 15 Om qarshilik va induktivlik g'altagi parallel ulandi. G'altakning aktiv qarshiligi hisobga olinmaydigan darajada kichik. Zanjirdagi to'la quvvat 648 V·A. G'altakning induktivligi nimaga teng? Aktiv va reaktiv quvvatlar qanday?

13.44. O'zaro parallel ulangan g'altak va rezistor orqali o'zgaruvchan tok oqmoqda. G'altakdagi kuchlanish 120 V rezistordagi tok kuchi 2 A, butun zanjirdagi tok kuchi esa 3,5 A. Rezistoring va g'altakning qarshiligini toping. Aktiv, reaktiv va to'la quvvatni hamda quvvat ko'effisientini aniqlang.

ELEKTROMAGNIT TEBRANISHLAR VA TO'LQINLAR.

Asosiy tushuncha va formulalar

Muhitda elektromagnit to'lqinlarining tarqalish tezligi:

$$g = \frac{c}{n} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}}; n = \sqrt{\epsilon\mu} \quad (14.1)$$

Bu yerda, c-yorug'likning bo'shliqdagi tarqalish tezligi, ϵ, μ -mos ravishda muhitning dielektrik singdiruvchanligi va magnit krituvchanligi, n-muhitning sindirish ko'rsatkichi.

Tebranishlar konturidagi elektromagnit tebranishlarning davri, chastotasi va siklik chastotasi:

$$T = \frac{1}{\nu} = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{LC}; \quad \nu = \frac{1}{T} = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (14.2)$$

$$\omega_0 = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T} = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \quad (14.3)$$

bu yerda, L va C-tebranishlar konturining induktivligi va sig'imi.

Tebranishlar konturidagi zaryadning va tokning vaqtga bog'lanishi:

$$q = q_m \cos \omega_0 t; \quad i = -q_m \omega_0 \sin \omega_0 t = I_m \cos \left(\omega_0 t + \frac{\pi}{2} \right), \quad (14.4)$$

bu yerda, q_m -zaryad tebranishlarining amplitudasi, $I_m = q_m \omega_0$ - tok kuchi tebranishlarining amplitudasi.

$$s = \frac{ct}{2} \quad (14.5)$$

t-elektromagnit to'linini nishonga borib kelish vaqti, $c=3 \cdot 10^8$ m/s, yorug'likning vakuumdagi tezligi.

Masala yechish namunalari

1-misol. Tebranish konturi 20 H induktivlikli g'altak va sig'imini $2 \cdot 10^{-8}$ dan 10^{-8} F gacha o'zgartirish mumkin bo'lgan kondensatordan tashkil topgan. Kontur qanday to'liq uzunliklarga mo'ljallangan? Berilgan konturning chastotalar diapazonini aniqlang.

Berilgan: $L=2 \cdot 10^{-5}$ H-g'altakning induktivligi; $C_1=2 \cdot 10^{-8}$ F-kondensatorning maksimal sig'imi; $C_2=10^{-8}$ F-kondensatorning minimal sig'imi; jadvaldan: $c=3 \cdot 10^8$ m/s-yorug'likning vakuumdagi tezligi.

Topish kerak: λ_1 va λ_2 - maksimal va minimal to'liq uzunliklarni; ν_1 va ν_2 -tebranish konturining chegaraviy chastotalarini.

Yechilishi. To'liq uzunliklari $\lambda_1=cT_1$ (C_1 sig'imda) dan $\lambda_2=cT_2$ (C_2 sig'imda) gacha intervalga yetadi.

Konturning tebranish davrini quyidagi formuladan aniqlaymiz:

$$T_1 = 2\pi\sqrt{LC_1}, T_2 = 2\pi\sqrt{LC_2};$$

$$T_1 = 2 \cdot 3,14 \sqrt{2 \cdot 10^{-5} \cdot 2 \cdot 10^{-8}} = 3,97 \cdot 10^{-6} \text{ s};$$

$$T_2 = 2 \cdot 3,14 \sqrt{2 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{-8}} = 2,81 \cdot 10^{-6} \text{ s}$$

U holda to'liq uzunliklari

$$\lambda_1 = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} \cdot 3,97 \cdot 10^{-6} \text{ s} = 1191 \text{ m};$$

$$\lambda_2 = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} \cdot 2,81 \cdot 10^{-6} \text{ s} = 843 \text{ m}.$$

ga teng bo'ladi. davrlarni bilgan holda chastotalarni aniqlash mumkin:

$$\nu_1 = 1/T_1; \nu_2 = 1/T_2; \nu_1 = 252 \text{ kHz}; \nu_2 = 356 \text{ kHz}.$$

Javob. Ushbu tebranish konturi to'liq uzunliklarining 843÷1191 m diapazonida 252÷356 kHz chastotalarda ishlashi mumkin.

2-misol. Tebranish konturidagi kondensatorda maksimal kuchlanish 120 V. Agar g'altakning induktivligi 0,005 H, kondensatorning sig'imi esa 10^{-5} F bo'lsa, maksimal tok kuchini aniqlang. Aktiv qarshilikni e'tiborga olinmaydigan darajada kichik deb hisoblang.

Berilgan: $U_m=120$ V-kondensatordagi maksimal kuchlanish; $L=0,005$ H-g'altakning induktivligi; $C=10^{-5}$ F-kondensatorning sig'imi.

Topish kerak: I_m -maksimal tok kuchini.

Yechilishi. Masalani ikki usul bilan yechish mumkin.

1-usul. Rezonans paytida konturning qarshiligi minimal, tok kuchi esa maksimal bo'ladi. Rezonans chastota

$$\omega_0 = 1/\sqrt{LC}. I_{ms} = U_m / X_c; X_c = 1/(\omega_0 C) = \sqrt{L/C}; I_{ms} = U_m / \sqrt{L/C} = U_m \sqrt{C/L}.$$

Shunday tarzda fikr yuritib, induktivlik g'altagidagi tok kuchini ham shunga o'xshash formuladan aniqlash mumkin, degan xulosaga kelamiz.

$$\text{Hisoblaymiz: } I_{ms} = 120 \sqrt{\frac{10^{-5}}{5 \cdot 10^{-3}}} = 5,37 \text{ A}; I_{ms} = I_m.$$

2-usul. Energiyaning saqlanish va bir turdan ikkinchi turga o'tish qonuniga asosan magnit maydonning maksimal energiyasi elektr maydonning maksimal energiyasiga teng bo'lishi kerak:

$$LI_m^2/2 = CU_m^2/2; \text{ bundan } I_m = U_m \sqrt{C/L}.$$

Ikkala yechimni o'zaro taqqoslab, ikkinchi usul ancha sodda ekanligini ko'ramiz.

Javob. Aktiv qarshilik bo'lmaganda konturdagi maksimal tok kuchi $I_m = 5,37$ A ga teng.

SAVOL VA MASALALAR

- 14.1. Tebranish konturida induktiv g'altak va kondensator qanday vazifani bajaradi?
- 14.2. G'altakning aktiv qarshiligi tebranish konturidagi elektromagnit tebranishlarga qanday ta'sir ko'rsatadi?
- 14.3. Konturda elektromagnit tebranishlar energiyasi nimalarga sarf bo'ladi?
- 14.4. Qanday hollarda konturda so'nmas elektromagnit tebranishlar vujudga keladi?

14.5. To'lqin tarqatgich 600 kHz chastotada ishlaydi. Bu chastota qanday to'lqin uzunlikka mos keladi?

14.6. Tebranish konturi 200 pF sig'imli kondensator va 20 mH induktivli g'altakdan tashkil topgan. Konturning xususiy tebranishlar davri va chastotasi qanday?

14.7. Ionosfera radio to'lqinlarni qaytaradi. U holda kosmik kemalar bilan radioaloqa qanday amalga oshiriladi?

14.8. Tebranish konturi sig'imi 10^{-9} F dan 40 pF gacha o'zgaradigan kondensatordan va 2 mH induktivlikli g'altakdan tashkil topgan. Kontur qanday to'lqin uzunliklarga mo'ljallangan?

14.9. Tebranish konturi 0,01 mH induktivli g'altak va 10^{-9} F sig'imli kondensatordan tashkil topgan. Kontur qanday to'lqin uzunlikka sozlangan? Ushbu to'lqin uzunlik qanday chastotaga mos keladi?

14.10. Tebranish konturi 500 m to'lqin uzunlikdagi elektromagnit tebranishlar nurlaydi. Agar konturning induktivligi 1,5 mH bo'lsa, konturga ulangan kondensatorning sig'imini aniqlang.

14.11. Agar samolyotdan qaytgan signal impuls nurlangandan keyin $3 \cdot 10^{-4}$ s o'tgach qabul qilingan bo'lsa, samolyot radiolokatoridan qanday masofada bo'lgan?

14.12. Radiolokatsion stansiya muayyan muhitga 2,25 GHz chastotada 10 sm uzunlikdagi elektromagnit to'lqinlar yubormoqda. Ushbu muhitda to'lqin tezligi nimaga teng va elektromagnit to'lqinlar vakuumda qanday uzunlikka ega bo'ladi?

14.13. 1,5 mkF sig'imli kondensatorga ega bo'lgan tebranish konturini 1,5 kHz chastotaga sozlash kerak. Buning uchun qanday induktivlik talab qilinadi?

14.14. Tebranish konturidagi tok kuchining vaqtga bog'lanishi $i = 0,06 \sin 106\pi t$ tenglama bilan tavsiflanadi. Agar magnit maydonning maksimal energiyasi $1,8 \cdot 10^{-4}$ J ga teng bo'lsa, elektromagnit tebranishlarning chastotasini va g'altakning induktivligini aniqlang.

14.15. Elektr zaryadi tebranish konturining kondensator qoplamalarida $q = 0,01 \cos(2\pi t + \pi)$ qonun bo'yicha o'zgaradi. Konturning doiraviy chastotasini,

chastotasini, davrini, zaryad tebranishining boshlang'ich fazasini va maksimal tok kuchini toping.

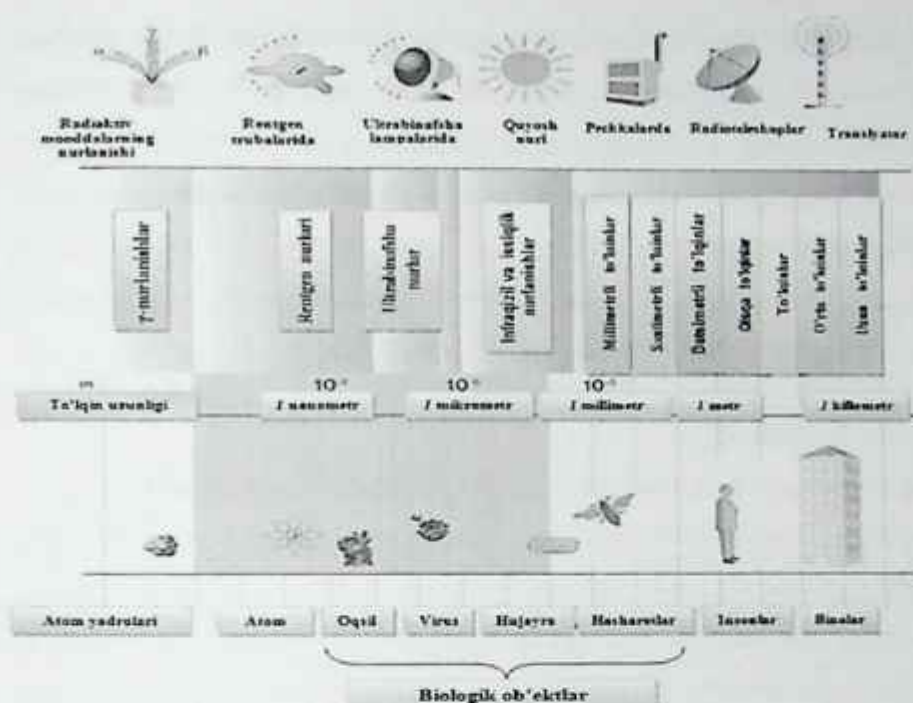
14.16. 20 MHz chastotaga sozlangan tebranish konturi 10-6H induktivlikli g'altak va plastinasining yuzi 20 sm² ga teng bo'lgan slyudali yassi kondensatorga ega. Agar slyudaning dielektrik singdiruvchanligi 6 ga teng bo'lsa, uning qalinligini aniqlang.

14.17. Tebranish konturida tebranish protsessida maksimal tok kuchi 6,28·10⁻³ A qiymatga erishadi, kondensatordagi maksimal zaryad esa 10⁻⁸ C ga teng bo'ladi. Konturdagi tebranish davrini aniqlang. U qanday to'lqin uzunliklarga sozlangan?

14.18. Tebranish konturining kondensatordagi maksimal potensiallar farqi 120 V. Agar kondensator 9 mkF sig'imga, g'altak esa 6 mH induktivlikka ega bo'lsa, maksimal tok kuchi qanday bo'ladi?

14.19. Tebranish konturidagi tok kuchining vaqtga bog'lanishi $i=0,02\sin 500\pi t$ tenglama orqali aniqlanadi. Konturning induktivligi 0,1 H. Elektromagnit tebranishlar davrini, konturning sig'imini, magnit va elektr maydonlarning maksimal energiyasini aniqlang.

14.20. Kondensatorning sig'imi 100 pF o'zgartirilganda tebranish konturining rezonans chastotasi 0,2 dan 0,25 MHz gacha ortdi. Konturning induktivligi qanday?



6-rasm. Elektromagnit to'lqinlar shkalasi

8 – laboratoriya ishi

Elektrostatik maydonni o'rganish

Ishning maqsadi: Elektrostatik maydon xususiyatlarni urganib, xar xil shakldagi elektrodlar uchun ekvipotensial sirtlarni chizish.

Kerakli asboblari: turli shakldagi elektrodlar, elektrostatik maydonni o'rganishga oid qurilma.

NAZARIY QISM

Xar kandy kuzgalmas zaryad atrofida elektrostatik maydon xosil buladi. Bu maydon materiyaning maxsus xolatidir. Fazoning xar bir nuqtasida elektrostatik maydon kuchlanganlik vektori E yoki potensial ϕ orkali xarakterlanadi. Maydon kuchlanganligi

E son jixatdan shu maydonning berilgan nuqtasiga joylashtirilgan birlik musbat zaryadga ta'sir etuvchi kuchga teng:

$$E=F/q_0. \quad (8.1)$$

Nuktaviy zaryadning undan r masofada joylashgan nuqtada xosil kilgan maydon kuchlanganligi quyidagiga teng:

$$E=k \frac{q}{\epsilon r^2}, \quad (8.2)$$

bu yerda ϵ – muxitning dielektrik kirituvchanligi, $k=9 \cdot 10^9$ m/F – uzgarmas kattalik bulib, elektr doimiysi deb ataladi.

Maydonning manzarasini kuch chiziklari kurinishida ifodalash kabul kilingan, bunda ularning zichligi kuchlanganlikning son kiymatini xarakterlaydi. Maydon kuchlanganligi yunalishining xar bir nuqtasidan utkazilgan urinma bilan mos keluvchi chizik kuch chizig'i deyiladi. Kuch chizigi xar bir nuqtadagi kuchlanganlik vektori E ning yunalishini, shuningdek maydonning shu nuqtasiga joylashtirilgan musbat zaryadga ta'sir etuvchi kuch yunalishini aniklaydi.

Kuchlanganlik maydonning kuch xarakteristikasi bulsa, potensial maydonning energetik xarakteristikasi xisoblanadi.

q zaryadning undan r masofada joylashgan nuqtadagi potentsiali kuyidagi formula bilan ifodalaniladi:

$$\varphi=k \frac{q}{\epsilon r}. \quad (8.3)$$

Bu formuladan kurinib turibdiki, potensial berilgan nuqtadan zaryadgacha bulgan masofaning funksiyasi xisoblanadi. Ammo shunday nuqtalarning yigindisini ajratib olish mumkinki, bu nuqtalarda potensial bir xil buladi. Nuktaviy zaryad xosil kilgan maydonda bunday nuqtalarning tuplami konsentrik sferik sirtlar bo'ladi.

Potensiallari bir xil bulgan nuqtalarning geometrik urni ekvipotensial sirtlar deb yuritiladi. Kuch chiziklari ekvipotensial sirtlarga doimo perpendikulyardir. Maydonning birlik musbat zaryadni kuchirishda bajargan ishi

$$dA=Edl \cdot \cos \alpha \quad (8.4)$$

ga teng. Bu yerda dl – yulning elementar bulagi, α – kuchlanganlik vektorining yunalishi bilan elementar yulga utkazilgan urinma orasidagi burchak. Ikkinchi tomondan, birlik zaryadni potentsiali $\varphi + d\varphi$ bulgan nuqtaga kuchirishda bajarilgan ish $dA = q(\varphi - [\varphi + d\varphi]) = -qd\varphi$ (8.5)

ga teng buladi.

Agarda zaryad ekvipotensial sirt buyicha kuchirilsa, maydonda bajarilgan ish nolga teng buladi, chunki $d\varphi = 0$. SHunday kilib, $\cos\alpha = 0$ yoki (8.4) formuladan kurinadiki, $\alpha = 90^\circ$, demak kuch chiziklari doimo ekvipotensial sirtga perpendikulyar buladi.

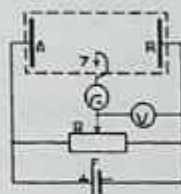
Tajriba qismi

Elektrostatik maydonni o'rganish uchun 8.1-rasmda ko'rsatilgan kurilma yig'iladi. U vanna dan iborat. Vannaga suv solinib, unga A va B metall elektrodlar joylashtiriladi. B – uzgarmas elektr manbai orkali ular orasida uzgarmas potentsiallar farki vujudga keltiriladi. Demak, A va B orasida elektrostatik maydon xosil buladi. Suvning utkazuvchanligi metallnikiga karaganda juda kichik bulgani uchun metall elektrodslarni bir xil potentsial sirtlar deb Hisoblash mumkin.

Z – zond, G – galvanometr orkali kuchlanish bulgichi R ning jilgichiga ulangan. V voltmetr zond bilan B elektrod orasidagi potentsiallar farkini kursatib turadi. Jilgichni surish bilan zondning potentsialini uzgartirish mumkin. Galvanometrda tok bulish yoki bulmasligi zond maydonining kaysi nuqtasida turganligiga boglik buladi. Agar zond maydonning bulgich jilgichidagi potentsialiga teng potentsialli nuqtasida turgan bulsa, u xolda zond va galvanometr zanjirida tok bulmaydi. Zond zanjirida tok nolga teng buladigan barcha nuqtalarning geometrik urni tekshirilayotgan maydondagi ekvipotensial sirtini xosil kiladi.

Elektrostatik maydonni urganish kuyidagicha amalga oshiriladi:

kuchlanish bulgichining jilgichini pogonama-pogona surib, jilgichga turli xil kiymatli potentsial beriladi. Jilgichga berilgan xar bir potentsial kiymati uchun zondni vannada surib yurish bilan urganilayotgan maydonning tegishli ekvipotensial sirti topiladi.



8.1-rasm

Topilgan ekvipotensial sirtlarni pentograf deb atalgan maxsus asbob yordamida grafik usulda chiziladi. Pentografning bir richagi uchiga Z vertikal zond urnatiladi. Zondning pastki uchi elektrolitga tushirilgan, yukorigi uchi esa yumshok sim orkali galvanometrqa ulangan buladi. Ekvipotensial sirtlarni kogosga chizib olish uchun pentografning ung kismi xizmat kiladi. Pentografning ikkinchi richagi uchiga K kalam vertikal maxkamlangan. Kalam (konturi rasmning ung kismida punktir chiziklar bilan kursatilgan) kogos varagi ustida richaglar bilan birga erkin xarakatlana oladi. Kalam normal xolatda bulganda prujina yordamida kogos sirtiga tegmay turadi va gorizonta tekislikda kogos sirtiga tegmasdan xarakat kiladi. Kalamni ustidan bosilganda prujina kiskaradi va kalamning ochilgan uchi kogosga tegadi.

Pentograf richaglari sistemasi shunday tuzilganki, zondning vanna buylab xamma gorizonta kuchishlari orkali ifoda kilinadi. Voltmetr kursatishining ma'lum bir kiymatiga mos kelgan xamma bir xil potentsialli nuktalar zond yordamida topiladi. Xar bir nukta uchun pentograf kalami bosib borilsa, kogosda potentsiallari bir xil bulgan nuktalarning tuplami xosil buladi. Uni kalam bilan birlashtirib chiksak, biz tekshirayotgan ekvipotensial sirt xosil buladi.

Ishni bajarish tartibi

Vanna ichiga ikki xil formadagi elektrodlar urnatiladi. Zond esa shu elektrodlar orasidagi urtadagi nuktaga joylashtiriladi.

Ukituvchining ijozati bilan sxemani tok manbaiga ulanadi.

Elektrodlar orasidagi maydonning ekvipotensial sirtlarini zond bilan tekshirib, pentograf yordamida chizib boriladi. Qog'ozda ekvipotensial sirtlarni ifodalovchi xar bir chizikning ikki uchiga unga mos kelgan voltmetr kursatishlari yozib kuyiladi.

Vannadagi yassi elektrodlar silindr shaklidagi elektrodlar bilan almashtiriladi va tajriba shu elektrodlar uchun takrorlanadi.

Kurilmaga tegishli bulgan barcha elektrodlar tuplami navbat bilan urnatilib chikiladi. Xar bir elektrodlar sistemasi uchun bu elektrodlar orasidagi maydon pentograf yordamida chizib chikiladi.

Xar bir elektrodlar sistemasi uchun ekvipotensial sirtlar va kuch chiziklari manzarasi chizib chikiladi.

Nazorat savollari

1. Elektr maydon kuchlanganligi va potentsiallarning fizik ma'nosini tushuntiring. Ularning birliklari qanday?
2. Elektrostatik maydon kuchlanganligi va potentsiali orasidagi bog'lanishlar qanday?
3. Ekvipotensial sirtlar deb nimaga aytiladi?
4. Kuch chiziqlari nima? Ular ekvipotensial chiziklarga nisbatan qanday yo'nalgan?
5. Sxemaning ishlashini tushuntiring.

9 – laboratoriya ishi

Uitston ko'prigi yordamida noma'lum kondensatorning sig'imini aniqlash

Ishning maqsadi: Kondensatorlar va ularni xarakterlovchi kattaliklar bilan tanishish.

Kondensatorlar sig'imini Uitston ko'prigi yordamida aniqlash.

Kerakli asboblari: reoxord, telefon yoki ossillograf, sig'implar magazini, noma'lum sig'imli ikkita kondensator, kalit, o'zgaruvchan tok manbai.

NAZARIY QISM

Boshqa o'tkazgich va zaryadlardan cheksiz uzoqda joylashgan, ya'ni yakkalangan bir o'tkazgichni tekshiraylik. Agar shu o'tkazgichga q zaryad berilsa, unda qiymati shu zaryad miqdoriga proporsional bo'lgan potentsial yuzaga keladi.

Tajribalarning ko'rsatishicha, turli o'lchamga va turli shakllarga ega bo'lgan o'tkazgichlar bir xil miqdordagi elektr zaryad bilan zaryadlansada, ularning potentsiali turlicha bo'lar ekan.

O'tkazgichga berilgan zaryad bilan shu o'tkazgichda yuzaga keladigan potentsial orasidagi bog'lanishning chiziqli xususiyatga ega ekanini e'tiborga olib, qo'yidagi ifodani yozish mumkin:

$$q = C \cdot \varphi \quad (9.1)$$

Bu yerda S – proporsionallik koeffitsienti bo'lib, uni shu o'tkazgichning elektr sig'imi deyiladi.

(9.1) ifodani

$$C=q/\varphi \quad (9.2)$$

ko'rinishda yozish mumkin.

Bu ifodaga ko'ra, berilgan o'tkazgichning elektr sig'imi deb, shu o'tkazgich potensialini bir birlikka orttirish uchun lozim bo'lgan zaryad miqdoriga teng bo'lgan kattalikka aytiladi. Xalqaro birliklar sistemasi (XBS) da elektr sig'imining birligi qilib Farad (F) olingan. Yakkalangan o'tkazgichga 1 C zaryad berilganda uning potentsiali 1 V ga ortsa, shu o'tkazgichning elektr sig'imi 1 Faradga teng bo'ladi, ya'ni:

$$1 \text{ F} = 1 \text{ C} / 1 \text{ V}$$

Miqdoran 1 F ga teng sig'im nihoyatda kattadir. SHu sababli amalda faradning juda kichik ulushlari: $1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}$ (mikrofarad), $1 \text{ nF} = 10^{-9} \text{ F}$ (nanofarad), $1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F}$ (pikofarad) qo'llaniladi.

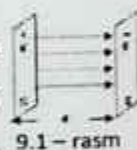
Amaliy ishlarda o'lchami kichik bo'lsa ham, ko'proq zaryadni o'zida to'play oladigan, ya'ni katta sig'imga ega bo'la oladigan o'tkazgichlar sistemasidan foydalanishga to'g'ri keladi. Bunday o'tkazgichlar sistemasi kondensator deb ataladi. Bir-biridan dielektrik muhit bilan ajratilgan sirt yuzalari teng ikkita va undan ortiq yassi plastinkalardan iborat sistemaga yassi kondensatorlar deyiladi.

Tajribalardan ma'lumki, ikki plastinkadan iborat yassi kondensatorning elektr sig'imi har bir plastinkadagi zaryadning shu plastinkalar orasidagi potentsiallar ayirmasi (kuchlanish) nisbatiga tengdir:

$$C=q/(\varphi_1-\varphi_2) \quad (9.3)$$

Plastinkalarni odatda qoplama deb ataladi. Shuning uchun, sig'im uchun quyidagicha ta'rif berish mumkin: kondensatorning elektr sig'imi uning qoplamalari orasidagi potentsiallar ayirmasini bir birlikka orttirish uchun zarur bo'lgan zaryad miqdori bilan o'lchanuvchi kattalikdir.

Qoplamalar orasidagi masofa d qoplamalar yuzi S va qoplamalar orasiga kiritilgan moddaning dielektrik singdiruvchanligi ϵ bo'lgan yassi kondensatorning elektr sig'imi yuqoridagi kattaliklar orqali qanday ifodalanishini ko'rib chiqaylik (9.1-rasm).



Qoplamalar orasidagi bir jinsli maydon kuchlanganligi E ayni shu oraliqda mavjud bo'lgan potentsiallar ayirmasi $\varphi_1 - \varphi_2$ bilan qo'yidagicha bog'langan:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = U = E \cdot d \quad (9.4)$$

O'z navbatida q zaryad bilan zaryadlangan ikki plastinka (qoplama) orasidagi maydon kuchlanganligi:

$$E = \sigma / (\epsilon_0 \epsilon) = q / (\epsilon_0 \epsilon S) \quad (9.5)$$

ko'rinishda bo'ladi. Bu yerda σ – qoplamadagi zaryadning sirt zichligi. (9.4) ifodadagi maydon kuchlanganligi o'rniga (9.5) ni qo'ysak, potentsiallar ayirmasi uchun qo'yidagi tenglikni olamiz:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = qd / (\epsilon_0 \epsilon S). \quad (9.6)$$

Bu ifodani (9.3) tenglik bilan taqqoslasak, izlayotgan yassi kondensator sig'imi qo'yidagi formula bilan ifodalanishini topish mumkin:

$$C = \epsilon_0 \epsilon S / d. \quad (9.7)$$

Bun ifodadan kondensatorning elektr sig'imini o'ttirish uchun qoplamalar yuzasini kattalashtirish yoki ular orasidagi masofani kichiklashtirish zarur ekan, degan xulosaga kelish mumkin. Ammo bu usul bilan kerak bo'lgan sig'imni hosil qilish noqulaydir. Buning o'rniga bir necha kondensatorni bir-biriga maxsus usullarda ulab, kerak bo'lgan sig'imni hosil qilish mumkin.

Bu ulash usullarining ikki turi: 1. ketma-ket ulash; 2. parallel ulash orqali natijaviy sig'implarni hosil qilish bilan tanishaylik.

1. Kondensatorlarni ketma-ket ulash

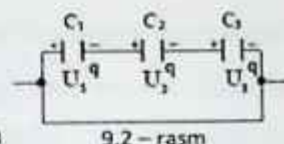
Ketma-ket ulashda (9.2-rasm) kondensatorning musbat zaryadli qoplamasi qo'shni kondensatorning manfiy zaryadli qoplamasi bilan ulangan (tutashgan) bo'ladi. Demak, barcha qoplamalar zaryadlari qiymati bo'yicha o'zaro teng, ammo har bir ulangan ikkita qoplamalar sistemasida umumiy zaryad miqdori nolga teng bo'ladi. Bunda umumiy potentsiallar ayirmasi har bir kondensator uchun alohida taqsimlanadi, ya'ni:

$$\varphi = \sum \Delta \varphi_i.$$

Ketma-ket ulangan kondensatorlarning ixtiyoriy bittasi uchun:

$$\Delta\varphi = q/C_i \quad (9.8)$$

ifodani yozish mumkin. Ikkinchi tomondan, barcha kondensatorlar uchun



$$\Delta\varphi = q/C = \frac{q}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i}}$$

bo'ladi.

Bundan, ketma-ket ulangan n ta kondensatorning umumiy sig'imi

$$1/C = 1/C_1 + 1/C_2 + \dots + 1/C_n \quad (9.9)$$

ifoda bo'yicha aniqlanar ekan.

Demak, kondensatorlar ketma-ket ulansa, umumiy sig'im kamayadi. Ketma-ket ulash sxemasi 9.2-rasmda keltirilgan.

2. Kondensatorlarni parallel ulash

Parallel ulangan kondensatorlar qoplamasidagi potentsiallar ayirmasi barcha kondensatorlar uchun bir xil bo'lib, $\varphi_1 - \varphi_2$ ga ($\Delta\varphi$ ga) teng. Agar kondensatorlar sig'imi C_1, C_2, C_3 va hokazo bo'lsa, bu holda har-bir kondensatordagi zaryadni

$$q_1 = C_1(\varphi_1 - \varphi_2)$$

$$q_2 = C_2(\varphi_1 - \varphi_2) \quad (9.10)$$

.....

$$q_n = C_n(\varphi_1 - \varphi_2)$$

ifodalar yordamida aniqlash mumkin. Barcha kondensatorlarning umumiy zaryadi

$$q = q_1 + q_2 + q_3 = C_1(\varphi_1 - \varphi_2) + C_2(\varphi_1 - \varphi_2) + \dots + C_3(\varphi_1 - \varphi_2)$$

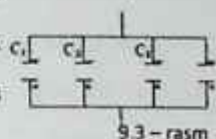
$$q = (\varphi_1 - \varphi_2) \sum_{i=1}^n C_i \quad (9.11)$$

$$C = \sum_{i=1}^n C_i = C_1 + C_2 + \dots + C_n. \quad (9.12)$$

Bundan ko'rinadiki, umumiy sig'im ulangan kondensatorlar sig'implari qiymatlarining arifmetik yig'indisiga teng bo'lar ekan. Kondensatorlarni parallel ulash sxemasi 9.3-rasmda keltirilgan.

Bu ishda kondensatorlarning sig'implari Uistston ko'prigi yordamida

aniqlanadi. Ma'lumki, kondensator qoplamalari orasida dielektrik qatlam qo'yilganligi sababli o'zgarmas tok kondensatordan o'tmaydi.



Shu sababli ishni bajarishda o'zgaruvchan tokdan foydalaniladi.

Agar kondensatorning qoplamalari o'zgaruvchan tok manbaiga ulansa, u holda kondensator qoplamalari davriy ravishda zaryadlanib hamda zaryadsizlanib turadi. Shu sababli kondensatorni o'zgaruvchan tok yo'lidagi o'tkazgich deb hisoblash mumkin.

Kuzatilayotgan zanjir sinuslar qonuni bo'yicha o'zgaruvchi elektr yurituvchi kuchi (EYK) bo'lgan tok manbaiga ulangan bo'lsin, ya'ni

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \sin \omega t \quad (9.13)$$

Bu yerda ε – EYK ning ixtiyoriy t momentdagi qiymati, ε_0 – EYUK ning maksimal (amplitudaviy) qiymati, ω – davriy chastota.

$$\omega = 2\pi/T.$$

Kondensator qoplamasidagi zaryad miqdorini sig'im formulasiga ko'ra qo'yidagicha aniqlash mumkin:

$$q = C\varepsilon = C\varepsilon_0 \sin \omega t. \quad (9.14)$$

Demak, qoplamalardagi zaryad ham sinuslar qoidasi bo'yicha o'zgaradi.

(9.13) ifodani vaqt bo'yicha differensiallaymiz va bunda zaryadning vaqt bo'yicha o'zgarishi tok kuchiga teng ekanligini e'tiborga olamiz:

$$dq/dt = I = C\omega \varepsilon_0 \cos \omega t.$$

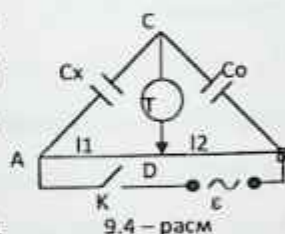
Demak, tok kuchi ham davriy ravishda o'zgarar ekan. Uning qiymati maksimal ($\cos \omega t = 1$) bo'lganda:

$$I = C\omega \varepsilon_0 = \frac{\varepsilon_0}{\omega C}. \quad (9.15)$$

ko'rinishga ega bo'ladi. (9.15) ifodani Om qonuni formulasi ($I = \varepsilon/R$) bilan taqqoslasak, $1/\omega C$ kattalik qarshilik vazifasini o'tashini bilishimiz mumkin, uni RC – deb belgilab $RC = 1/(\omega C)$ (9.16)

ifodani yozishimiz mumkin. RC – kondensatorning sig'imiylar qarshiligi.

Kondensatorning sig'imini o'lchash uchun qo'llaniladigan elektr zanjir sxemasi (Uitston ko'prigi sxemasi) 9.4-rasmda tasvirlangan. Bu sxemada ε – o'zgaruvchan EYUK manbai, C_0 – sig'imi ma'lum bo'lgan kondensator, C_x – sig'imi noma'lum bo'lgan kondensator, K – kalit, zanjirning CD qismidagi telefon ko'priklari vazifasini o'taydi. Zanjirning A va B nuqtalari reoxordga ulangan simning D uchi reoxord bo'ylab harakatga keltirilib telefonda tok o'tishi to'xtagan holat topiladi. Bu telefonda tovush bo'lmasligiga ko'ra aniqlanadi. Bu holatni ko'priklarning muvozanat holati deyiladi. Tabiiyki, bunda C va D nuqtalardagi potensiallar tenglashgan bo'ladi ($\varphi_C = \varphi_D$). Reoxord simining D nuqtaga nisbatan chap va o'ng qismlari uzunligini mos ravishda l_1 va l_2 deb belgilab olamiz. Ular reoxord elkalari deb ataladi. Ko'priklarning muvozanat holati ($I_D = 0$) da 9.4-rasmdagi elektr zanjiriga nisbatan qo'yidagi ayniyatlarni yozish mumkin: $I_C = I_x$ va $I_1 = I_2$. (9.17)



Shuningdek, C va D nuqtalarda potensiallar qiymatlarining tengligi ($\varphi_C = \varphi_D$) dan ACDA kontur uchun

$$\varphi_A - \varphi_C = \varphi_A - \varphi_D \quad (9.18)$$

yoki

$$I_x R_x = I_1 R_1. \quad (9.19)$$

SHuningdek, CBDC kontur uchun

$$I_0 R_{C_0} = I_2 R_2 \quad (9.20)$$

ni yozish mumkin. (9.19) va 9.20) tengliklarning chap va o'ng tomonlarining nisbatini olamiz hamda tok kuchlari uchun (9.17) ifodalardan foydalanib noma'lum qarshilik uchun:

$$RC_x = RC_0 \frac{R_1}{R_2} \quad (9.21)$$

tenglamaga kelish mumkin. Bu yerda RC_x va RC_o – sig'imiylar qarshiliklaridir. Reoxordning simini bir jinsli hamda ko'ndalang kesimi S o'zgarmas metall sim deb hisoblab, qarshilikning bizga tanish bo'lgan

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

ifodasini R_1 va R_2 lar uchun yozib quyidagi

$$RC_x = RC_o \frac{l_1}{l_2} \quad (9.22)$$

tenglikka ega bo'lamiz. (9.18) va (9.22) formulalardan qo'yidagi ifodani topamiz:

$$C_x = C_o \frac{l_1}{l_2}. \quad (9.23)$$

Bu ifoda noma'lum sig'imni C_o , l_1 va l_2 – ma'lum qiymatlar orqali topishga imkon beradi.

Ishni bajarish tartibi

1. Elektr zanjiri yig'iladi. Zanjirga sig'imi noma'lum bo'lgan C_{x1} kondensator ulanadi.
2. D kontakt reoxordning o'rtasiga qo'yiladi. Sig'imlar magazinidan shunday C_o sig'im tanlab olinadiki, bunda telefonning tovushi eng past, ossillografdagi signal esa minimal bo'lsin. So'ngra D kontakti reoxord bo'ylab surib, telefondagi tovush (ossillografdagi signal)ning o'zgarishi qayd qilib boriladi. Telefonda tovush yuqolishi (ossillografdagi signal 0 ga teng bo'lishi) bilan kontakti surish to'xtatiladi. SHu nuqtaga nisbatan reoxordning elkalar uzunliklari l_1 va l_2 jadvalga yozib olinadi. Bu tajribani 3 marta takrorlash lozim.
3. Sig'imi noma'lum birinchi kondensator o'miga ikkinchi noma'lum sig'imli C_{x2} kondensator ulanadi. Bu kondensator uchun ham 2-bandda bajarilgan ishlar takrorlanadi.
4. C_{x1} va C_{x2} kondensatorlar ketma-ket ulanadi va yana 2-bandda bajarilgan ishlar takrorlanadi. So'ngra bu ikki noma'lum sig'imli kondensator parallel ulanib tajriba yana 3 marta takrorlanadi.
5. Tajribada topilgan l_1 va l_2 hamda C_o qiymatlarni (9.23) formulaga qo'yib, har bir kondensatorning sig'imi hisoblab topiladi. SHuningdek, bu kondensatorlarning ketma-

ket va parallel ulangandagi natijaviy sig'implari ham hisoblanadi. So'ngra ikki noma'lum kondensatorni ketma-ket va parallel ulashda olinadigan natijaviy sig'im (9.9) va (9.12) nazariy formulalar bo'yicha hisoblanib, tajribada olingan natijalar bilan taqqoslanadi.

Tajriba va hisoblash ma'lumotlari qo'yidagi jadvalga yozib boriladi.

Kondensatorlar		Co	I1	I2	Cx	<Cx >
1	1					
	2					
	3					
2	1					
	2					
	3					
Ketma-ket ulangan	1					
	2					
	3					
Parallel ulangan	1					
	2					
	3					

Nazorat savollari

1. Elektr sig'imi deb qanday fizik kattalikka aytiladi va u qanday birliklarda o'lchanadi?
2. Kondensator qanday elektr asbob? Uning vazifasi nimadan iborat?
3. Kondensatorlarni ketma-ket va parallel ulaganda natijaviy sig'im qanday formulalarga ko'ra aniqlanadi?
4. Kondensatorning o'zgaruvchan tokka nisbatan qarshiligi (sig'imi qarshilik) qanday aniqlanadi?
5. Yassi kondensatorning sig'imini aniqlash formulasini keltirib chiqaring.
6. Nima uchun sig'imni o'lchashda o'zgaruvchan tokdan foydalaniladi?

7. Kondensatorning noma'lum sig'imini ko'prik usulida aniqlash formulasini keltirib chiqaring.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. В.С.Волкенштейн. Сборник задач по общему курсу физики. – Москва. Наука, 1985. – 384 с.
2. Р.А.Гладкова, Н.И.Кутиловская. Физикадан савол ва масалалар тўплами. – Тошкент. Ўқитувчи, 1988. – 320 б.
3. М.Исмоилов. Элементар физика масалалари. – Тошкент. Ўқитувчи, 1993. – 325 б.
4. А.А.Чертов, А.А.Воробьев. Физикадан масалалар тўплами. – Тошкент. Ўзбекистон, 1997. – 604 б.
5. К.А.Турсунметов, А.М.Худойберганов ва бoshq. Fizikadan masalalar to'plami. – Toshkent. O'qituvchi, 2001. – 180 b.
6. М.Х.О'лмасова. Mexanika va molekulyar fizika. I, II, III-kitob, Toshkent. O'qituvchi, 2007. – 270, - 320, - 290 b.
7. softjphysicon.ru
8. [www:http://www.physicon.ru](http://www.physicon.ru)
9. <http://irodov.nm.ru/other/volkenshtein.htm>

GLOSSARIY

ELEKTR	
Elektr zaryadi	Zarralarning elektromagnit o'zaro ta'sirini aniqlovchi fizik miqdor
Elektr izolyatsiyalangan sistema	Chegaralaridan zaryadlangan zarrachalar o'ta olmaydigan sistema
Elektr zaryadining saqlanish qonuni	Elektr izolyatsiyalangan sistemaning yig'indi zaryadi sistemadagi jismlar o'zaro to'qnashgandan so'ng ham saqlanib qolishini tasqiqlovchi qonun
Nuqtaviy zaryad	O'lchamini undan zaryadi bor boshqa jismlargacha bo'lgan masofaga nisbatan hisobga olmasa ham bo'ladigan zaryadlangan jism
Kulon qonuni	Zaryadlari q_1 va q_2 bo'lgan va oralaridagi masofa r bo'lgan ikkita qo'zg'almas nuqtaviy zaryadlar orasidagi o'zaro ta'sir kuchini miqdor jihatdan aniqlab beradigan qonun
Berilgan nuqtadagi elektr maydon kuchlanganligi	Maydonning berilgan nuqtasiga joylashtirilgan birlik qo'zg'almas nuqtaviy zaryadga ta'sir etuvchi kuchni ifoda qiluvchi elektr maydonini xarakterlovchi vektor kattalik
Elektr maydonlarining superpozitsiya (qo'shish) prinsipi	Zaryadlar sistemasi maydonining kuchlanganligi har bir zaryad hosil qilgan maydon kuchlanganliklarining vektor yig'indisiga teng
Vakuumdagi elektrostatik maydon uchun Gauss teoremasi	Ixtiyoriy yopiq sirt orqali E vektori oqimi shu sirt ichidagi zaryadlar algebraik yig'indisining ϵ_0 ga nisbatiga teng
Ikkita nuqtaviy zaryadlar o'zaro ta'siri potensial energiyasi	$W_p = \frac{kq_1 \cdot q_2}{r}$
Elektr maydonining berilgan nuqtasidagi potensial	Shu nuqtaga joylashgan birlik musbat zaryad potensial energiyasiga teng skalyar kattalik: $\varphi = W_p / q$
Kuchlanganlik orqali potensial ta'rifi	$\varphi_1 - \varphi_2 = \int E dl$
Elektr maydon kuchlanganligi va	$\vec{E} = -\text{grad} \varphi$

potensial orasidagi bog'lanish	
Elektrostatik induksiya	Moddadagi musbat va manfiy zaryadlarning tashqi elektr maydoni ta'sirida turli tomonlarga siljishi natijasida yuzaga keladigan xususiy elektr maydoni
Dipol elektr momenti	Zaryadning dipol manfiy zaryadidan musbat zaryadiga yo'nalgan zaryadlar orasidagi masofaga ko'paytmasiga son jihatdan teng vektor kattalik
D vektor uchun Gauss teoremasi	Yopiq sirt orqali elektr induksiya vektorining oqimi shu sirt ichidagi erkin zaryadlar yig'indisiga teng
Elektr sig'imi	Zaryadlangan jismning fazoda hosil qilgan elektr maydonining xarakteristikasi
Zaryadlangan kondensator energiyasi	Kondensatorni zaryadlash uchun bajarilishi kerak bo'lgan ish: $w = \frac{C \cdot \phi^2}{2} = \frac{q \cdot \phi}{2} = \frac{q^2}{2C}$

MUNDARIJA

Soʻz boshi	5
1-§. Elektrostatik maydon va uning xususiyatlari	7
2- §. Elektr maydon kuchlanganlik vektorining oqimi	32
3-§. Elektrostatik maydondagi dielektriklar va oʻtkazgichlar	42
4-§. Oʻzgarmas tok qonunlari	76
5-§. Muhitlarda elektr toki.....	103
6-§.Vakuumda elektr toki.....	134
7-§. Vakuumda magnit maydoni	155
8-§. Induksiya vektorining sirkulyatsiyasi va oqimi	179
9-§. Elektromagnit induksiya hodisasi.....	199
10-§. Moddalarning magnit xususiyatlari.....	217
11-§. Elektromagnit maydon uchun Maksvell tenglamalari.....	225
12-§. Elektromagnit tebranishlar va toʻlqinlar.....	230
13-§. Elektromagnit toʻlqinlar.....	250
14-§. Oʻzgaruvchan elektr tokini tavsiflovchi tenglamalar.....	258

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
1- §. Электростатическое поле и его свойства	7
2- §. Ток вектора напряженности электрического поля	32
3-§ Диэлектрики и проводники в электростатическом поле	42
4-§ Законы неизменных токов	76
5-§ Электричество в окружающей среде.....	103
6-§ Электрический ток в вакууме.....	134
7-§ Магнитное поле в вакууме	155
8-§ Циркуляция и течение вектора индукции	179
9-§ Явление электромагнитной индукции.....	199
10-§ Магнитные свойства веществ.....	217
11-§ Уравнения Максвелла для электромагнитного поля.....	225
12-§ Электромагнитные колебания и волны.....	230
13-§ Электромагнитные волны.....	250
14-§ Уравнения, описывающие переменный ток.....	258

TABLE OF CONTENTS

Introduction	5
1- §. Electrostatic field and its properties.....	7
2- §. Current of the electric field intensity vector.....	32
3-§ Dielectrics and conductors in an electrostatic field.....	42
4-§ Laws of constant currents	76
5-§ Electricity in the environment.....	103
6-§ Electric Current in Vacuum.....	134
7-§ Magnetic Field in Vacuum.....	155
8. § Circulation and Flow of the Induction Vector.....	179
9-§ Phenomenon of Electromagnetic Induction.....	199
10-§. Magnetic Properties of Substances.....	217
11-§. Maxwell's Equations for the Electromagnetic Field.....	225
12-§ Electromagnetic Oscillations and Waves.....	230
13-§ Electromagnetic Waves.....	250
14-§ Equations Describing Alternating Current.....	258

O'QUV ADABIYOTINING NASHR RUXSATNOMASI

O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va
innovatsiyalar vazirligining 2025 yil "14" Aprel
dagi "136"-sonli buyrug'iga asosan

O.N.SULTONOVA, K.R.NASRIDDINOV

tasvirlarning kamiborasi, usm-ahorat

Kimyo muhandisligi

fil-Tam yot haddida muhandislarligi

ning

talabalari (o'quvchilari) uchun tavsiya etilgan

Umumiy fizika (elektr)

in qon adabiyotining nomi va davr: 2025 va qon qon

ga

O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasi
tomonidan litsenziya berilgan nashriyotlarda nashr
etishga ruxsat berildi.

Vazir



K.Sharipov

№ 837892

K.R.NASRIDDINOV, O'.N.SULTONOVA

UMUMIY FIZIKA

DARSLIK

Tasdiqnoma № 255979, 13.04.2024

Bosishga 20.05.2025 da ruxsat berilgan. Format 60x84/16.

Garnitura Times New Roman. Shartli bosma tobog'i 18.5. Adadi 50 dona.

Buyurtma № 176

“TERMIZ PUBLISHING CENTER” nashriyotida tayyorlandi va chop
etildi.

Surxondaryo viloyati, Termiz shahri, Uvaysiy ko'chasi 8A-uy, Toshkent
sh., "TRASTBANK" XA BANKINING BOSH OFISI, MFO: 00491,

INN: 311209934 H/R: 20208000307031406001

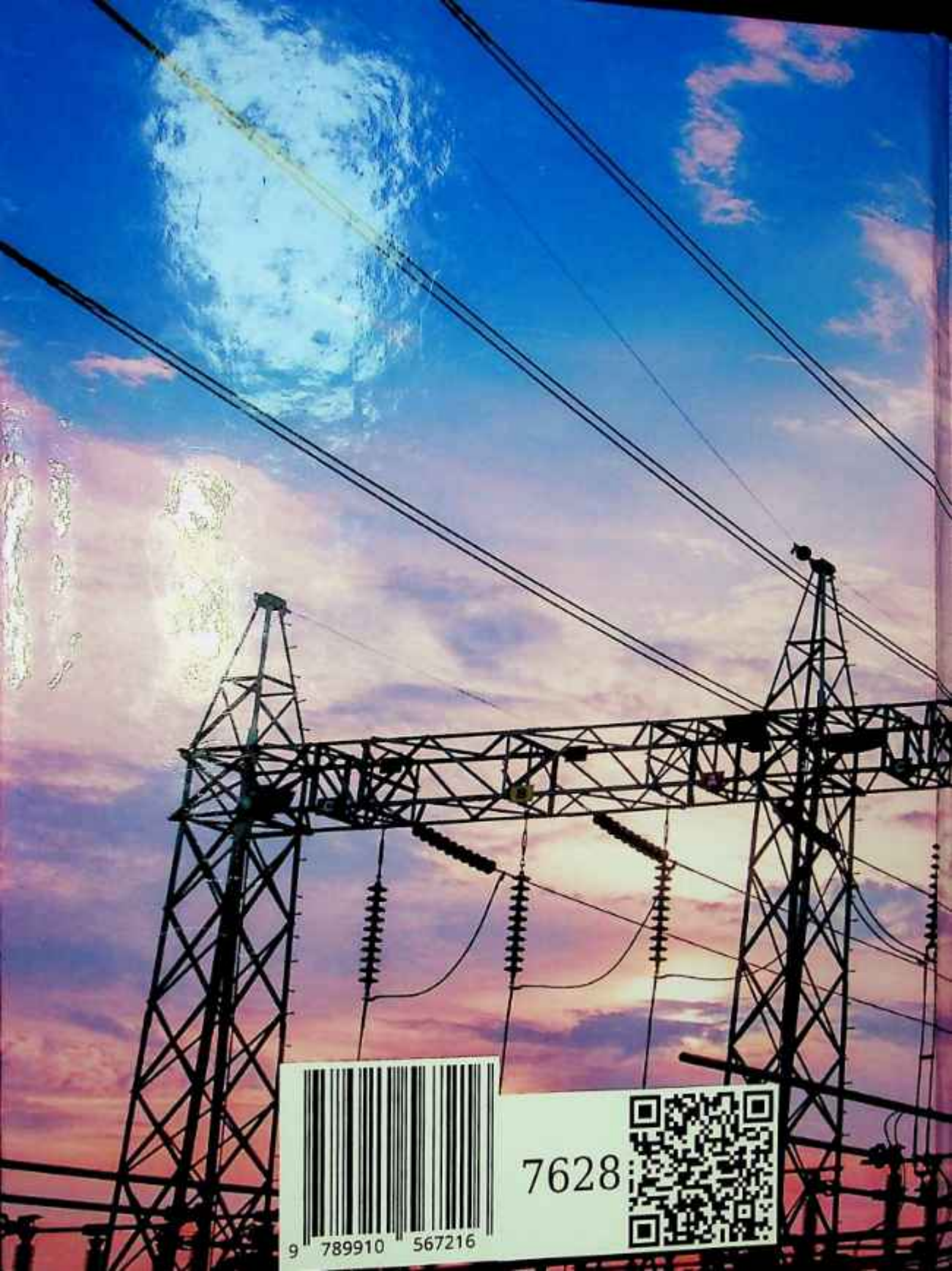
Telefon: +998-88-808-21-07



7628



Termiz – 2025



9 789910 567216

7628

