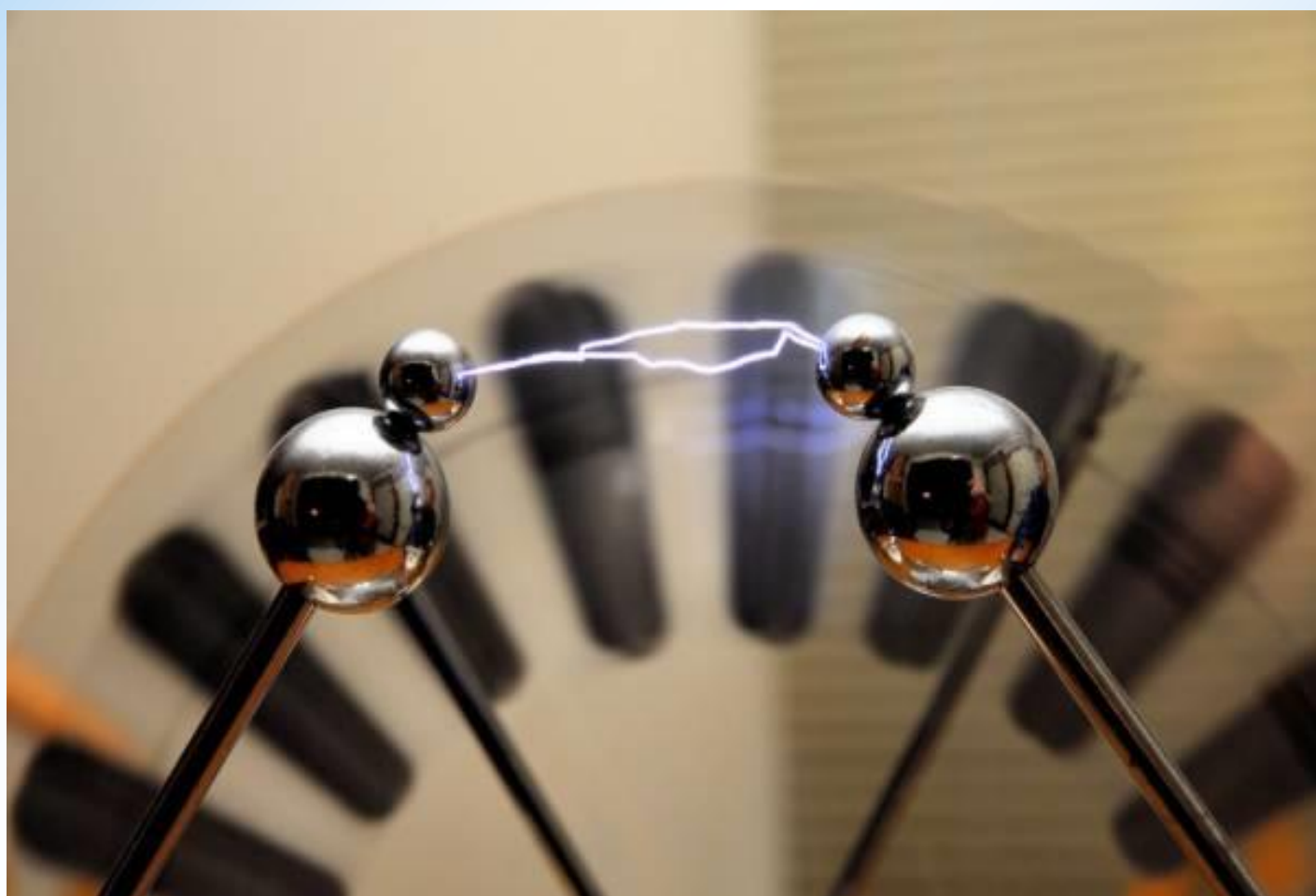


S. J. BOZOROVA, N. KAMOLOV, F.X. BAYCHAYEV

FIZIKA KURSI

(ELEKTR VA MAGNETIZM)



**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O'RTA
TA'LIM VAZIRLIGI
NAVOIY DAVLAT KONCHILIK INSTITUTI**

S. J. BOZOROVA, N. KAMOLOV, F.X. BAYCHAYEV

**FIZIKA KURSI
(ELEKTR VA MAGNETIZM)**

Texnika oliy ta'lim muassasalarining **5321100** – “**Noyob va radioaktiv metallar rudalarini kazib olish, qayta ishlash texnikasi va texnologiyasi**” bakalavriat ta'lim yo'nalishi talabalari uchun darslik sifatida tavsiya etilgan.

Navoiy – 2019

Fizika kursi (Elektr va magnetizm). Darslik.

S. J. Bozorova, N.Kamolov, F.X. Baychayev.

Ushbu darslik fizika kursining “Elektr va magnetizm” bo’limini o’z ichiga olib “Elektrostatika”, “O’zgarmas elektr toki”, “Magnetizm” va “Elektr tebranishlar” boblaridan tashkil topgan. Mavzular so’ngida test va tayanch iboralarga asoslangan nazorat savollari ham berilgan bo’lib, fizik qonunlarning ko’rgazmali tasvirlanganligi talabalarga qulaylik yaratadi.

Darslikning maqsadi talabalarning nazariy bilimlarini amaliyotda tajriba bilan umumlashtirishga qaratilgan bo’lib, fizik qonunlardan ongli ravishda foydalanib, kelgusida fizikaga asoslangan ixtisoslik fanlarni chuqur va puxta o’rganishga asos yaratishdir. Darslik texnika oliy o’quv yurtlarining “Noyob va radioaktiv metallar rudalarini qazib olish, qayta ishlash texnikasi va texnologiyasi” yo’nalishi talabalariga mo’ljallangan.

Taqrizchilar:

O’zbekiston Milliy universiteti Fizika fakulteti “Yadro fizikasi” kafedrasini mudiri, fizika-matematika fanlari nomzodi, dotsent

S. Polvonov

Navoiy davlat konchilik instituti “Umumiy fizika” kafedrasini mudiri, fizika- matematika fanlari nomzodi, dotsent

I. Urunov

SO'Z BOSHI

Ushbu “Fizika kursi (elektr va magnetizm)” darsligi O‘zbekiston Respublikasi davlat ta’lim standartining texnika oliy o‘quv yurtlari “Noyob va radioaktiv metallar rudalarini qazib olish, qayta ishlash texnikasi va texnologiyasi” bakalavr ta’lim yo‘nalishi talabalari uchun mo‘ljallangan bo‘lib, buyurtmachi korxonalar tomonidan quyilgan talab va ehtiyojlar asosida yozilgan.

Darslikning maqsadi talabalarning nazariy bilimlarini amaliyotda tajriba bilan umumlashtirishga qaratilgan bo‘lib, fizik qonunlardan ongli ravishda foydalanib, kelgusida fizikaga asoslangan ixtisoslik fanlarini chuqur va puxta o‘rganishga asos yaratishdir. Shuningdek, darslikning har bir bo‘limi oxirida testlar, masala va nazorat savollarining berilganligi talabalarga fizika fanini chuqurroq o‘zlashtirishlari, mustaqil shug‘ullanishlari uchun qulaylik tug‘diradi, ularning olgan bilimlarini tizimlashtirishga yordam beradi.

Darslikdagi berilgan mavzular chet el adabiyotlaridan olingan ma’lumotlar bilan boyitilgan bo‘lib, sodda tilda ortiqcha matematik formulalarsiz, ko‘rgazmalilikka e’tibor qilgan holda bayon qilingan hamda fanning o‘quv dasturidan chiqmagan holda ixcham xajmga egaligi talabalarga qulaylik tug‘diradi.

Mualliflar ushbu darslik sifatini yaxshilashga qaratilgan barcha tanqidiy fikr – mulohazalarni minnatdorchilik bilan qabul qiladi.

I bob

ELEKTROSTATIKA

II-bob

O'ZGARMAS ELEKTR TOKI

III- bob

MAGNETIZM

IV-bob

ELEKTR TEBRANISHLAR

I bob

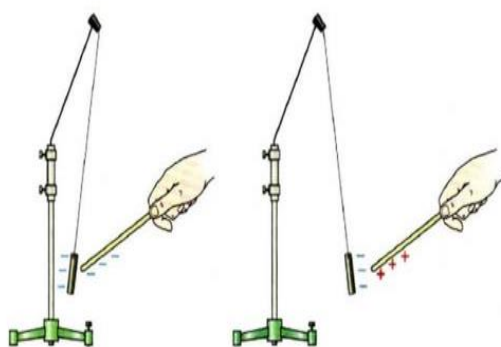
ELEKTROSTATIKA

1.1. Elektr zaryadi. Jismlarning elektrlanishi

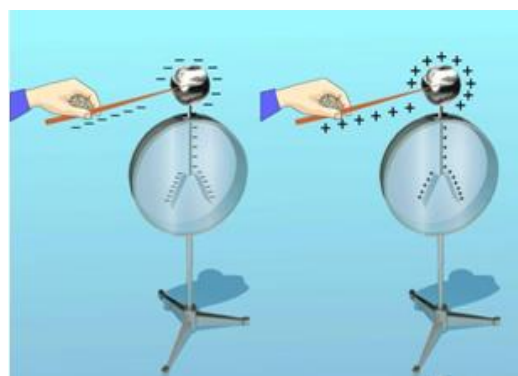
Qo'zg'almas zaryadlangan jismlarning o'zaro ta'siri va ular bilan bog'liq hodisalar qonuniyatlari haqidagi fizikaning bo'limi elektrostatika deb ataladi.

Elektr yunoncha "elektron" so'zidan olingan bo'lib, qahrabo demakdir. Jismlarning ishqalanish tufayli o'ziga yengil buyumlarni tortish qobiliyatini namayon qilishi – elektrlanish, jismning o'zi esa elektrlangan yoki zaryadlangan deb hisoblanadi. Umuman, elektr hodisalari qadimdan kuzatilib kelingan, masalan: chaqmoq, avliyo El'ma chiroqlari, qutb yog'dusi, shuningdek, qog'oz qirqimlari, soch tolalarini tortishi kabilar. 1600 yilda ingliz olimi Jelbert yigirmaga yaqin moddalar (olmos, xrustal, oltingugurt) ning qahraboga o'xshash o'ziga yengil buyumlarni tortish qobiliyatini namayon qilishini, italiyan olimi Galvani esa elektrning fiziologik ta'sirini aniqlagan.

Elektr haqidagi ta'limot XIX – asrning ikkinchi yarmida ayniqsa rivojlandi. Shu davrga kelib, elektr toki, uning issiqlik va magnit ta'sirga ega ekanligi aniqlanib, elektromagnit induksiya hodisasi kashf etildi.



a)



b)

1.1-rasm

Sodda tarjibalarda elektrlangan jismlar ba'zan bir – birlari bilan itarishsa, ba'zan bir – birlari bilan tortishishlari kuzatiladi, bu esa elektr zaryadning ikki turi mavjudligidan darak beradi. Shartli ravishda fransuz olimi Sh.Dyufoni (1733 y.) taklifiga ko'ra, teri yoki ipakka ishqalanish tufayli shisha tayoqchada vujudga kelgan elektrlanish musbat, mo'yna yoki junga ishqalanish tufayli qahraboda vujudga kelgan elektrlanish manfiy deb qabul qilingan. Bir xil ishoralari zaryadlangan jismlar bir-birlari bilan itarishadi, har xil ishorali zaryadlangan jismlar bir – biriga tortishadi(1.1a-rasm). Jismlarning elektrlanish darajasini aniqlashda G.Rixman tomonidan kashf etilgan elektrometrdan foydalaniladi (1.1b-rasm).

Jismlarning elektrlanishini tushuntirishda ularning atom molekulyar tuzilishiga asoslanamiz. Hozirgi zamon tasavvurlariga muvofiq moddalar yanada soddaroq tarkibiy qismga ajralmaydigan elementlar zarrachalar (elektron, proton, neytron)dan tashkil topgan. Elementar zarrachalarning gravitatsion ta'sirga o'xshash $F \sim \frac{1}{r^2}$, lekin undan ko'ra juda kuchli (10^{39} marta) ta'sir etish qobiliyatiga ega bo'lganlari borki, ular elektr zaryadlari yoki elementer zaryadlar deb yuritiladi. *Elektr zaryadi zarrachalarning ta'sir etish intensivligini belgilaydi.* Zaryadsiz zarrachalar mavjud, lekin elektr zaryadini zarrachasiz tasavvur etib bo'lmaydi.

Zaryad va zarracha bir butun bo'lgan yagona obektiv reallikdir. Modda atom –molekulalari ana shunday zarrachalardan tashkil topganligi uchun elektr zaryadi barcha jismlar tarkibiga organik ravishda kirgan bo'ladi. Odatda jismlar atom molekulalari tarkibiga kirgan turli ishorali zaryadga ega bo'lgan zarrachalar soni teng bo'ladi, shu tufayli jismlar elektr jihatdan neytral (zaryadsiz) bo'ladi. Agar biror usul bilan (ishqalanish, elektr induksiya, ionlashtirish) jismdagi ma'lum ishorali zaryadli zarrachalar qayta taqsimlansa, bu jism zaryadlangan bo'ladi. Jismlarning bunday elektrlashida ularning har ikkalasi ham (qahrabo ham, mo'yna ham) absolyut miqdorlari teng, ishora jihatdan qarama – qarshi zaryadlanadi. Shu

tufayli elektrlangan jismning zaryad miqdori elementar zarrachalar zaryad miqdorlari yig'indisidan iborat bo'lib, unga butun son marta karralidir.

$$q = \pm Ne \quad (1.1)$$

bu yerda e – elementar zaryad miqdori. (1.1) – ifodadan, zaryad diskret qiymatlarni qabul qilgani uchun u kvantlangan hisoblanadi.

Elektr zaryadi obektiv reallik bo'lib, u g'oyibdan vujudga kelmaydi va o'z – o'zidan yo'qolmaydi. Faqat bir jismdan ikkinchisiga uzatilishi yoki shu jism hajmida qayta taqsimlanishi mumkin, bu xulosa elektr haqidagi ta'limotning asosi bo'lib, zaryad miqdorining saqlanish qonuni deb yuritiladi: *elektr jihatdan izolyatsiyalangan jismlar sistemasi umumiy zaryad miqdorining algebraik yig'indisi o'zgarmas kattalikdir.*

$$q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n = \text{const} \quad (1.2)$$

Agar zaryadlangan zarrachalar masalan elektronlar, ionlar biror jism hajmida ma'lum erkinlik bilan harakatlansa, bunday jism elektrni o'tkazadi ya'ni tok hosil qiladi. Elektr o'tkazish xususiyatiga qarab tabiatda uchraydigan barcha moddalar: dielektriklar (izolyatorlar), o'tkazgichlar va yarimo'tkazgichlarga ajratiladi.

1.2. Elektrostatika asosiy qonuni – Kulon qonuni

Tajribalar ko'rsatishicha, zaryadlangan jismlarning o'zaro ta'siri zaryadlarning o'lchami, shakli ular orasidagi masofaga bog'liq bo'ladi, bu bog'lanishlardan istisno bo'lish uchun nuqtaviy zaryad tushunchasidan foydalaniladi. *Nuqtaviy zaryad deb, o'lchamlari ular arosidagi masofaga nisbatan kichik bo'lgan zaryadlangan jismlarga aytiladi.*

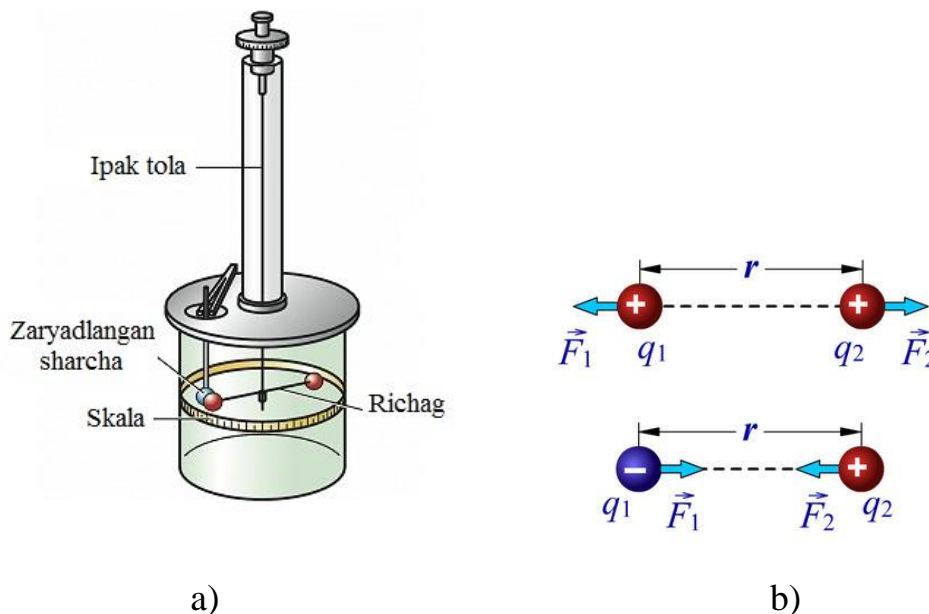
Nuqtaviy zaryadlarning o'zaro ta'sir qonuni 1785-yilda fransuz olimi Sharl Kulon buralma tarozi yordamida tajribada aniqlangan (1.2a – rasm).

Kulon qonuniga muvofiq, *vakuumda joylashgan ikki nuqtaviy zaryad, zaryad miqdorlarining ko'paytmasiga to'g'ri proporsional va ular orasidagi masofa kvadratiga teskari proporsional kuch bilan ta'sirlashadi.* Agar zaryadlar ishorali

bo'lsa, bu kuch ularni to'tashtiruvchi to'g'ri chiziq bo'ylab yo'nalgan bo'lib itarishish, aksincha qarama – qarshi ishorali bo'lsa, tortishish xarakteriga ega bo'ladi(1.2b – rasm). Kulon qonuni quyidagicha ifodalanadi:

$$F = k \cdot \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{\epsilon \cdot r^2} \quad (1.3)$$

bu yerda F – q_1 va q_2 nuqtaviy zaryadlarning o'zaro ta'sir kuchi; r – zaryadlar orasidagi masofa; $\frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ – proporsionallik koeffisienti.



1.2-rasm.

(1.3) – formuladagi kuch va masofaning etalon birligidan foydalanib, zaryad miqdorining birligini keltirib chiqaramiz. SGS – absolyut birliklar sistemasida zaryad miqdorining birligi absolyut elektrostatik birlik 1 SGSE deb yuritiladi. Bu sistemada, Kulon qonunidagi proporsionallik koeffisienti 1 ga teng ($k = 1$)deb olinadi.

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

Agar

$$|q_1| = |q_2| = q \quad (1.5)$$

bo'lsa, zaryad miqdorining birligi quyidagi ifodadan aniqlanadi.

$$[q] = [r \cdot \sqrt{F}] = [1sm \cdot \sqrt{1din}] = [1CGCE \cdot zaryad.birligi]$$

Bu shunday zaryadning miqdoriki, vakuumda joylashgan zaryad, o'ziga teng zaryad miqdoriga 1sm masofadan 1 dina kuch bilan ta'sir etadi. Tajribalar elementar zaryad miqdorining SGS dagi qiymati $e = 4,8 \cdot 10^{-10}$ SGSE zaryad birligiga tengligini ko'rsatadi.

Xalqaro birliklar sistemasi (SI) elektr va magnit kattaliklarni aniqlashda, tokli o'tkazgichlarning o'zaro ta'siriga asoslanadi. Bir amper tok o'tib turgan o'tkazgichlarning ko'ndalang kesim yuzidan bir sekunda ko'chirilgan zaryad miqdori 1 Kulon deb yuritiladi:

$$1 \text{ Kl} = 1 \text{ A} \cdot \text{sek}$$

Hisoblashlar, $1 \text{ Kl} = 3 \cdot 10^9$ SGSE – zaryad birligiga tengligini ko'rsatadi. Elementlar zaryad miqdorining SI sistemadagi qiymati quyidagiga teng:

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Kl}$$

Kulon qonuni SI – sistema (ratsionallashtirilgan ko'rinish) da ifodalash uchun, tarzda yozish keltirilgan. U holda Kulon qonuni quyidagicha ko'rinishida ifodalanadi:

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

ϵ_0 - absolyut elektrostatik doimiylik.

Agar zaryad miqdori kulonlarda, masofa metrlarda ifodalansa, vakuumda joylashgan ikki nuqtaviy zaryadlarning o'zaro ta'sir kuchi $F=9 \cdot 10^9$ N ligi ma'lum bo'ladi. Shular yordamida absolyut elektrostatik doimiylikni aniqlaymiz:

$$\epsilon_0 = \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{4\pi \cdot F \cdot r^2} = \frac{1}{4 \cdot 3,14 \cdot 9 \cdot 10^9} = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Kl}^2}{\text{N} \cdot \text{m}^2} \quad (1.7)$$

Barcha shart – sharoitlar o'zgarmaganda ikkala zaryad, bir jinsli modda (suv, kerosin, parafin) ichiga joylashtirilsa, ularning o'zaro ta'sir kuchi kamayishini kuzatiladi.

Agar zaryadlarning vakuumda o'zaro ta'sir kuchini F_0 deb, modda ichida F deb belgilansa,

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

nisbat moddalarning elektr xususiyatini belgilaydi va *dielektrik sindiruvchanlik* deb ataladi. U o'lchamsiz kattalik bo'lib, zaryadlar orasidagi o'zaro ta'sir kuchi vakuumdagiga qaraganda berilgan muhitda necha marta kamayganligini ifodalaydi hamda har xil moddalar uchun turli qiymatga ega bo'ladi:

1-jadval

Modda	ε	Modda	ε
Havo	1	Karbolit	3-5
Kerosin	2	Shisha	6-8
Parafin	2,2	Slyuda	8-9
Ebonit	2,7	Etil spirti	27
		Suv	81

Dielektrik sindiruvchanlikni hisobga olib, Kulon qonuni umumiy ko'rinishda quyidagicha ifodalanadi:

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{\varepsilon \cdot r^2} \quad (1.9)$$

1.3. Elektrostatik maydon kuchlanganligi

Elektrlangan jismlar bilan o'tkaziladigan tajribalar asosida, olimlar elektr zaryadining bu o'zaro ta'siri, zaryad bilan bevosita bog'liq bo'lgan, elektr maydoni deb ataladigan materiyaning o'ziga xos formasi orqali uzatiladi degan xulosaga keldilar, lekin shu bilan bir qatorda uni boshqa maydonlar (gravitatsion, yadroviy) bilan aralashtirib yuborishga yo'l quyilmaydi. Elektr maydoni boshqa xil elektr

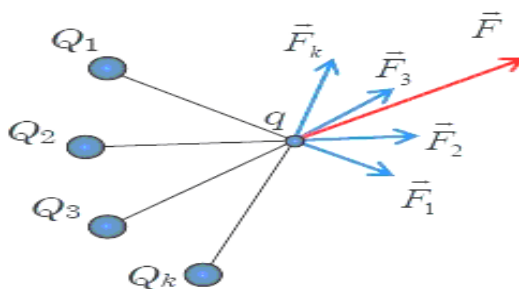
maydonlari kabi, moddiy olam maydon materiyasining o'ziga xos yashash formasi bo'lib, u obyektiv reallikdir.

Elektr maydoni faqat zaryadga bo'lgan ta'sir orqali namoyon bo'ladi. Elektr maydoni faqat zaryadlangan jismlar atrofidagi fazoda mavjud. Elektromagnit o'zaro ta'sir juda katta, lekin chekli tezlik bilan uzatiladi ($3 \cdot 10^8$ m/sek).

Elektr maydoning miqdoriy jihatdan xarakterlash uchun maydon kuchlanganligi tushunchasidan foydalanadilar. Qo'zg'almas q zaryad maydoniga q_s sinov zaryadini kiritamiz (1.3-rasm). Kulon qonuniga muvofiq, sinov zaryadiga ta'sir etadigan kuch:

$$F = q_c \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad (1.10)$$

Vektor ko'rinishda



1.3-rasm

Tajribalar ko'rsatishicha, har xil kattalikdagi sinov zaryadiga har xil kuchlar ta'sir etadi:

$$\begin{cases} F_1 = q_c \left(\frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \right) \\ F_2 = q_c \left(\frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \right) \\ F_n = q_c \left(\frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \right) \end{cases} \quad (1.11)$$

Bu kuchlarning sinov zaryadiga nisbati maydonning har bir nuqtasi va har qanday sinov zaryadi uchun o'zgarmas kattalik bo'lib, u maydonning asosiy kuch xarakteristikasi hisoblanadi va *elektr maydon kuchlanganligi* deb yuritiladi. *Elektr*

maydon kuchlanganligi birlik musbat zaryadga ta'sir etuvchi kuchga son jihatidan teng kattalik bo'lib, u quyidagicha ifodalanadi:

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

(1.12) ifodaga muvofiq, maydon kuchlanganligining birligi qilib Xalqaro birliklar sistemasi (SI) da 1 N/Kl qabul qilingan, u shunday maydon kuchlanganligiki, miqdori 1 Kulon bo'lgan zaryadga 1 Nyuton kuch ta'sir qiladi:

$$1 \frac{H}{Kl} = 1 \frac{B}{m}$$

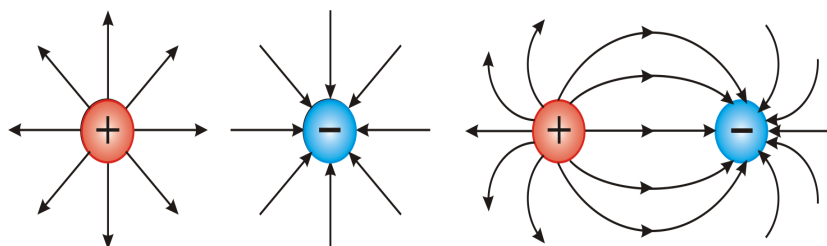
Agar q nuqtaviy zaryad maydoniga q_s sinov zaryadi kiritilsa, ular orasidagi kuch Kulon qonuniga muvofiq aniqlanadi (1.10).

U holda vakuumda joylashgan nuqtaviy zaryad maydoning kuchlanganligi

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad (1.13)$$

ifodaga teng bo'ladi.

Elektr maydon kuchlanganligi vektor kattalik bo'lib, uning yo'nalishi musbat zaryaddan tashqariga, manfiy zaryad uchun esa zaryadga tomon yo'nalgan bo'ladi (1.4-rasm).



1.4-rasm

Agar elektr maydonini ikki yoki undan ortiq zaryadlar sistemasi vujudga keltirsa, u holda maydon kuchlanganligi, alohida zaryadlar maydon kuchlanganligi vektorining geometrik yig'indisi tarzida aniqlanadi

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i, \quad (1.14)$$

Bu ifoda elektr maydonlarining *superpozitsiya prinsipi* yoki *qo'shilish prinsipi* deb ataladi. Masalan, q_1 va q_2 zaryadlarning fazoning berilgan nuqtasidagi maydon kuchlanganligini topadigan bo'lsak, u holda maydonning istalgan nuqtasidagi kuchlanganlik vektori superpozitsiya prinsipiga ko'ra aniqlanadi (1.5-rasm). U holda maydonning istalgan nuqtasidagi kuchlanganlik vektori superpozitsiya prinsipiga ko'ra aniqlanadi:

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2 \quad (1.15)$$

Kuchlanganlik vektorining moduli:

$$E^2 = E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 \cos \alpha \quad (1.16)$$

Bu yerda, α - \mathbf{E}_1 \mathbf{E}_2 vektorlar hosil qilgan burchak.

Agar $\alpha = \pi/2$ bo'lsa,

$$E^2 = E_1^2 + E_2^2$$

bo'ladi.

Zaryadlar sistemasi maydonidagi sinov zaryadiga har xil zaryad mustaqil ta'sir etadi.

$$\mathbf{F}_1 = k \frac{q_1 q_c}{r_1^2} \quad \text{va} \quad \mathbf{F}_2 = k \frac{q_2 q_c}{r_2^2} \quad (1.17)$$

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \mathbf{F}_3 + \dots + \mathbf{F}_i$$

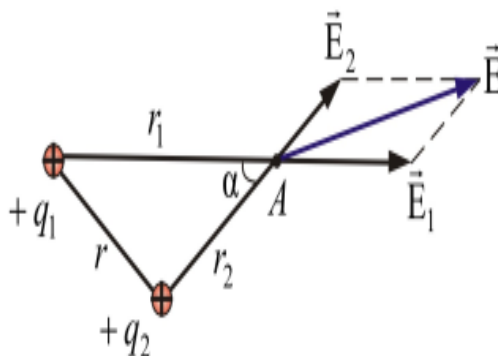
Bu kuchlarning bosh vektori:

(1.17) ifodadagi asosan maydon kuchlanganligi:

$$\mathbf{F} = \frac{F}{q_c} = \frac{F_1}{q_c} + \frac{F_2}{q_c} + \frac{F_3}{q_c} + \dots + \frac{F_i}{q_c} \quad (1.18)$$

yoki

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2 + \mathbf{E}_3 + \dots + \mathbf{E}_i \quad (1.19)$$



1.5-rasm

(1.19) superpozitsiya prinsipining ifodasi bo'lib, istalgan zaryadlar sistemasining maydon kuchlanganligi hisoblash imkoniyatini yaratadi.

Dipol maydonining kuchlanganligi

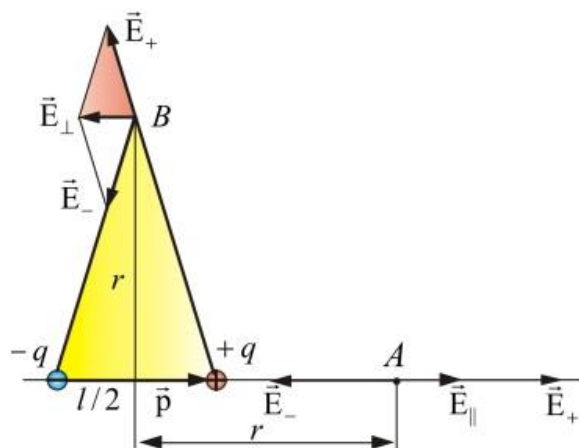
Elektr dipoli (qo'sh qutb) deb, miqdori teng, lekin qarama-qarshi ishorali, bir-biridan ℓ masofada joylashgan $+q$ va $-q$ zaryadlar to'plamidan iborat sistemaga aytiladi

Kuzatilayotgan nuqta dipol o'qida yotgan bo'lsa, dipol zaryadlaridan birini modulini ular orasidagi masofaga ko'paytmasidan iborat kattalik dipol momenti deb yuritiladi.

$$\vec{P} = q\vec{\ell} \quad (1.20)$$

bu yerda P - dipolning elektr momenti, ℓ - ni dipolning elkasi deyiladi. Zaryadlarni tutashtiruvchi chiziqni dipol o'qi deyiladi.

Dipolning A va B nuqtalarda hosil qilgan maydonlarini superpozitsiya prinsipiga asosan hisoblaymiz. Buning uchun zaryadlar orasidagi masofa ℓ dipolning kuchlanganligi aniqlanadigan nuqttagacha bo'lgan masofaga nisbatan juda kichik deb olamiz, ya'ni $\ell \ll r$.



1.6-rasm

Dipol o'qi yo'nalishida joylashgan A nuqtadagi elektr maydon kuchlanganligini hisoblash:

A nuqtadagi natijali elektr maydoni kuchlanganligi ikkala zaryad hosil qilgan maydon kuchlanganliklarining algebraik yig'indisiga teng

$$\vec{E} = \vec{E}_+ + \vec{E}_- \quad (1.21)$$

+q zaryadning maydon uchun $E_+ = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{(r - \ell/2)^2}$

- q zaryadning maydoni uchun $E_- = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{(r + \ell/2)^2}$

Bularni (1.21) ga qo'ysak $E_A = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{2r\ell}{(r^2 - \ell^2/4)^2}$ bo'ladi. Agar $\ell \ll r$ ekanligini xisobga olsak,

$$E_A = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{2P}{r^3} \quad (1.22)$$

bo'ladi. Demak, A nuqtadagi natijaviy maydon (1.22) ko'rinishda hisoblanadi.

Dipol o'qiga tik bo'lgan B nuqtadagi maydon kuchlanganligini hisoblash: Buning uchun 1.6 - rasmdagi uchburchaklarni o'xshashligidan foydalanib,

$$\frac{E_B}{E_+} = \frac{\ell}{\sqrt{r^2 + (\ell/2)^2}}$$

munosabatni yozamiz.

Agar $r \gg \ell$ ekanligini hisobga olsak,

$$E_B = \frac{\ell}{r} E_+ = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{P}{r^3} \quad (1.23)$$

hosil bo'ladi.

Bu ifoda B nuqtadagi elektr dipoli hosil qilgan natijaviy maydon kuchlanganligidir.

(1.23) bilan (1.22) ni solishtirsak, $E_V = 2 E_A$ ekanligini ko'ramiz.

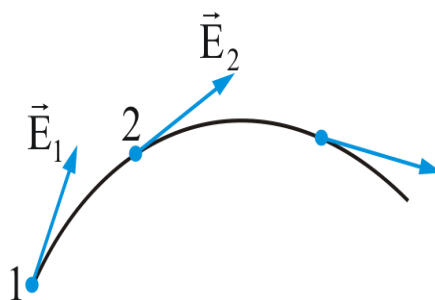
Dipol o'qiga nisbatan ixtiyoriy nuqtadagi maydon kuchlanganligi esa

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{P}{r^3} \sqrt{1 + 3\cos^2 \alpha} \quad (1.24)$$

formula bilan topiladi. Bunda (1.24) formuladagi α burchak dipol o'qi bilan maydoni aniqlanayotgan nuqtaga o'tkazilgan chiziq orasidagi burchak.

Elektr maydonini ko'rgazmali tasvirlash uchun kuchlanganlik chiziqlari tushunchasidan foydalaniladi. *Kuchlanganlik chiziqlari fazoda shunday o'tkaziladiki, uning har bir nuqtasiga o'tkazilgan urinma kuchlanganlik vektori E bilan mos tushadi.* Elektr maydon kuchlanganlik chiziqlariga o'tkazilgan urinma maydonni yo'nalishi jihatidan xarakterlasa, chiziqlar zichligi esa uni miqdoriy jihatdan xarakterlaydi. Kuchlanganlik chiziqlari maydonning qaysi nuqtasida zich

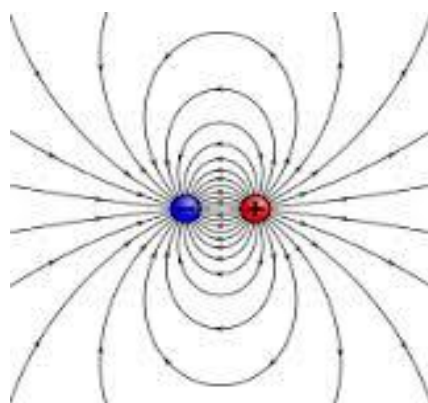
bo'lsa, o'sha yerda maydon kuchlanganligi ham katta bo'ladi. Elektr maydoni o'sha zaryadga kattaroq kuch bilan ta'sir etadi va aksincha (1.7 – rasm).



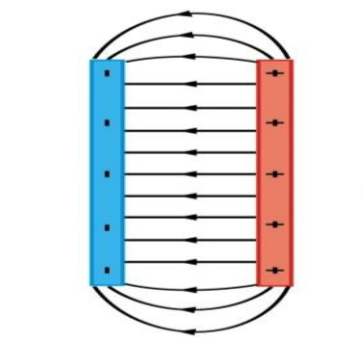
1.7-rasm

Elektr maydon kuchlanganlik chiziqlarining shakli zaryadlar ishorasi va elektrodning shakliga bog'liq bo'ladi (1.8a-rasm).

Kuchlanganlik chiziqlari o'zaro parallel bo'lib, zichligi barcha nuqtalarda bir xil bo'lgan maydon jinsli elektr maydoni deb yuritiladi(1.8b-rasm).



a)



b)

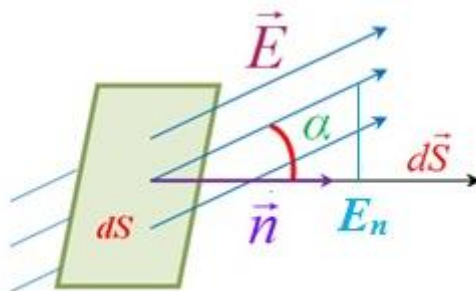
1.8-rasm

1.5. Elektr maydon kuchlanganlik vektorining oqimi

Gauss teoremasi va uning tadbirlari

Elektr maydonini xarakterlashda nafaqat kuchlanganlik chiziqlari tushunchasidan, balki elektr maydon kuchlanganlik vektor oqimi tushunchasidan

ham foydalaniladi. Oqimni aniqlash uchun, xususiy holni ko‘rib chiqamiz. Bizga bir jinsli elektr maydoniga joylashtirilgan dS -elementar yuzani berilgan bo‘lsin.



1.9-rasm

1.9- rasmdan ko‘rinadiki, kuchlanganlik vektorining oqimi, dS elementar yuza orqali o‘tayotgan kuchlanganlik chiziqlari soniga teng kattalikka aytiladi va bu kattalik kuchlanganlik vektorini unga perpendikulyar bo‘lgan yuzaga ko‘paytmasi bilan aniqlanadi:

$$d\Phi_E = E dS \cos \alpha \quad (1.25)$$

1.9-rasmdan, $E_n = E \cos \alpha$

$$d\Phi_E = E_n dS \quad (1.26)$$

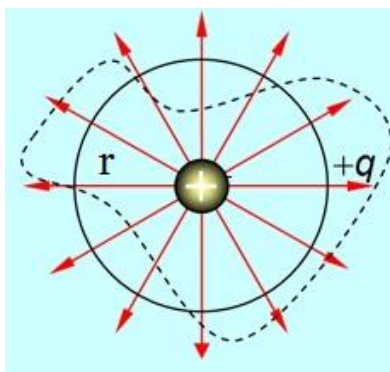
Agar maydon bir jinsli bo‘lmasa, S sirtini shunday elementar bo‘lakchalarga ajratamizki, uning har bir bo‘lakchasi uchun (1.26) ifodani yozish mumkin bo‘lsin.

Ixtiyoriy berk sirt orqali maydon kuchlanganligi vektorining oqimi, shu elementar bo‘lakchalardan o‘tayotgan oqimining algebraik yig‘indisiga teng bo‘ladi:

$$\Phi = \lim_{\Delta S_i \rightarrow 0} \sum_i E_n^i \Delta S_i = \int_S E_n dS \quad (1.27)$$

Gauss teoremasi ichida elektr zaryadi joylashgan ixtiyoriy berk sirt orqali maydon kuchlanganligi vektori oqimini hisoblashga imkon beradi.

Faraz qilaylik, ichi bo‘sh radiusi r bo‘lgan sharning markazida nuqtaviy zaryad joylashgan bo‘lsin. Nuqtaviy zaryadning r masofadagi kuchlanganligi (1.10-rasm)



1.10-rasm

(1.27) ga nuqtaviy zaryad maydoni kuchlanganligi vektori ifodasini qo‘yib sirt bo‘yicha integrallaymiz:

$$\Phi_E = \oint_S E dS = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \cdot \oint_S dS_c = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \cdot 4\pi r^2 = \frac{q}{\epsilon_0} \quad (1.28)$$

Bu formula vakuumdagi elektr maydon potentsiali uchun Gauss teoremasini ifodalaydi.

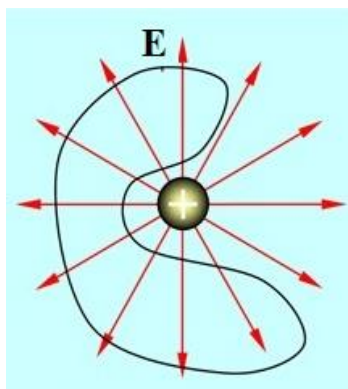
Demak, elektr maydon kuchlanganlik vektorining ixtiyoriy shakldagi berk (yopiq) sirt orqali oqimi shu sirt ichida joylashgan zaryadlarning algebraik yig‘indisini ϵ_0 ga bo‘lgan nisbatiga teng.

Sferik sirdan qancha kuchlanganlik chiziqlari o‘tsa, egri sirdan ham shuncha chiziqlar chiqadi. Demak, $\frac{q}{\epsilon_0}$ bunday nuqtaviy zaryad maydon kuchlanganligining ixtiyoriy sirt bo‘yicha oqimidan ortiq bo‘lmaydi degan xulosa chiqadi. Bu xulosa istalgan zaryadlar sistemasi uchun o‘rinli bo‘lib, Ostrograskiy-Gauss teoremasi deb nomlanadi va quyidagicha ta’riflanadi.

Istalgan shakldagi berk sirt orqali elektr maydon kuchlanganligi vektorining oqimi, shu sirt o'rab olgan zaryadlar algebraik yig'indisining absolyut elektrostatik doimiysi nisbatiga teng:

$$\Phi_E = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_{i=1}^n q_i, \quad \text{yoki} \quad \oint_S \vec{E}_n dS = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_{i=1}^n q_i \quad (1.29)$$

Bu ifoda faqat sferik sirt uchungina emas, balki nuqtaviy zaryadni o'rab turgan ixtiyoriy ko'rinishdagi berk sirt uchun ham o'rinlidir. Agar berk sirt ixtiyoriy ko'rinishda bo'lsa ham kuch chiziqlari sirtga kiradi va undan chiqadi. (1.11-rasm).



1.11-rasm

Superpozitsiya prinsipiga asosan, zaryadlar sistemasi maydonining kuchlanganligi

$$\vec{E} = \sum \vec{E}_i, \quad (1.30)$$

u holda q_1, q_2, \dots, q_n zaryadlar sistemasini o'rab turgan ixtiyoriy yopiq sirt orqali o'tuvchi kuchlanganlik oqimi

$$\Phi_E = \oint_S \vec{E} dS = \oint_S \left(\sum \vec{E}_i \right) dS = \sum_i \oint_S \vec{E}_i dS$$

(1.28) ifodaga ko'ra, algebraik yig'indi ostidagi har bir integralning qiymati $\frac{q}{\epsilon_0}$ ga teng bo'lsa,

$$\oint_S E_n dS = \frac{q_1}{\varepsilon_0} + \frac{q_2}{\varepsilon_0} + \frac{q_3}{\varepsilon_0} + \dots + \frac{q_n}{\varepsilon_0} = \frac{1}{\varepsilon_0} \sum_{i=1}^n q_i \quad (1.31)$$

ifoda kelib chiqadi. u esa Ostrogradskiy-Gauss teoremasining matematik ifodasidir. Agar zaryad biror hajmda tekis taqsimlangan bo'lsa, elektr maydoni kuchlanganligining oqimi quyidagicha aniqlanadi:

$$\oint_S E_n dS = \frac{q}{\varepsilon_0} \cdot \oint_V \rho dV \quad (1.32)$$

Agar $q = 0$ yoki $\sum q_i = 0$ bo'lsa, har qanday berk sirt orqali elektr maydon kuchlanganlik vektorining oqimi ham nolga teng bo'ladi.

$$\oint_S E_n dS = 0 \quad (1.32)$$

Bundan quyidagicha xulosalar chiqarish mumkin.

Berk sirt ichida zaryadlar bo'lmasa yoki zaryadlarning algebraik yig'indisi nolga teng bo'lsa, elektr maydon kuchlanganlik chiziqlari sirt ichidan boshlanmaydi ham, tugallanmaydi ham. Sirtga kirishda qancha manfiy oqim hosil bo'lsa, chiqishda shuncha musbat oqim hosil bo'ladi.

Elektr maydon kuchlanganlik chiziqlari faqat musbat zaryaddan boshlanadi va manfiy zaryadda yoki cheksizlikda tugallanadi.

Gauss teoremasi yordamida turli shakldagi zaryadlangan jismlarni maydon kuchlanganliklarini hisoblash mumkin. Buning uchun quyidagi tushunchalarni kiritamiz:

- Zaryadlarning hajmiy zichligi deb, jismning bir birlik xajmiga mos kelgan zaryadga miqdor jihatdan teng bo'lgan fizik kattalikka aytiladi, ya'ni

$$\rho = \frac{q}{V},$$

bu erda q – jismning V – hajmiga mos kelgan zaryad miqdori.

- Zaryadning sirt zichligi deb, jismning bir birlik sirt yuzasiga mos kelgan zaryadga miqdor jihatdan teng fizik kattalikka aytiladi, ya'ni

$$\sigma = \frac{q}{S}$$

bu erda q – jismning S yuzasiga mos kelgan zaryad miqdori.

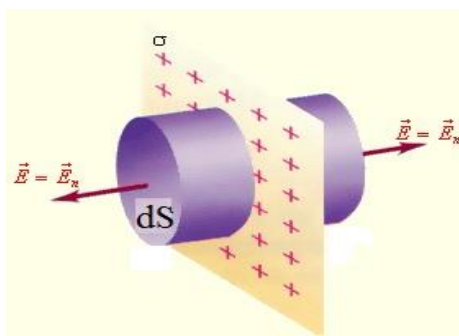
- Zaryadning chiziqli zichligi deb, jismning uzunlik birligiga mos kelgan zaryadga miqdor jihatdan teng fizik kattalikka aytiladi, ya'ni

$$\lambda = \frac{q}{l}$$

bu erda q - jismning l uzunligiga mos kelgan zaryad miqdori.

Bir jinsli tekis zaryadlangan cheksiz tekislik maydoni kuchlanganligi

Faraz qilaylik, cheksiz bir tekis zaryadlangan tekislik σ – sirt zichligiga ega bo'lsin. Bunda elektr maydon kuchlanganlik chiziqlari tekislik sirtiga perpendikulyar bo'ladi.



1.12-rasm

Bu tekislikka perpendikulyar bo'lgan (1.12-rasm) asosi dS ga teng silindr olaylik. Tekislik silindrni teng ikkiga bo'ladi. Silindirning har bir asosi orqali o'tadigan kuchlanganlik oqim EdS ga teng bo'lganligi uchun silindrik sirt orqali o'tgan to'la oqim Gauss teoremasiga asosan

$$\oint_S E_n dS = 2ES_{ac} \quad (1.34)$$

$$\Phi_E = \frac{1}{\varepsilon_0} \sum q_i = \frac{\sigma dS}{\varepsilon_0} \quad (1.35)$$

(1.34) va (1.35) ga ko'ra
$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} \quad (1.36)$$

Bu formuladan ko'rinadiki, kuchlanganlik nuqtaning holatiga bog'liq bo'lmaydi, demak maydon plastinkaning ikkala tomonida ham bir jinslidir.

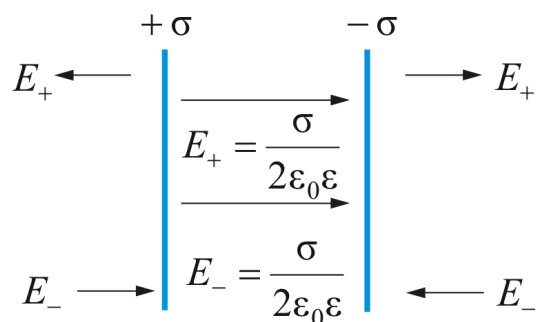
Har xil ishorali tekis zaryadlangan juft tekislik maydonining kuchlanganligi

Tekisliklar turli ishorali $+\sigma$ va $-\sigma$ zaryad zichliklari bilan bir tekis zaryadlangan bo'lsin. Bu tekisliklarning maydon kuchlanganligi superpozitsiya prinsipiga asosan aniqlanadi. 1.13-rasmdan ko'rinadiki, tekisliklarning chap va o'ng tomonlarida maydon kuch chiziqlari qarama-qarshi yo'nalgan. Shuning uchun bu $x \leq 0$ va $x \geq d$ cohalarda natijaviy maydon kuchlanganligi $\vec{E} = 0$ ga teng. Ikki tekislik orasida ($0 \leq x \leq d$) esa, natijaviy maydon ikkala tekislik maydonlarining

yig'indisiga teng. U holda
$$E_+ = E_- = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$$

bo'lsa,
$$E = E_- + E_+ = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} + \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}. \quad (1.37)$$

kelib chiqadi. Demak, ikki tekislik orasidagi hamma nuqtalarda elektr maydon kuchlanganligi σ ga bog'liq bo'ladi. Bu cohada kuch chiziqlari musbat zaryadlangan tekislikdan boshlanib manfiy zaryadlangan tekislikda tugaydi.



1.13-rasm

Tekisliklardan tashqaridagi sohada kuchlanganlik chiziqlari qarama-qarshi yo'nalgan bo'lib, ular bir-birini kompensasiyalaydi, shu tufayli maydon kuchlanganligi nolga teng bo'ladi. Shunday qilib, qarama-qarshi ishorali, bir xil zaryad zichligi bilan zaryadlangan qo'sh tekislik maydonining kuchlanganligi ular orasidagi sohada mujassamlashgan bo'ladi va kuchlanganlik chiziqlari parallel chiziqlardan iborat bo'lgan bir jinsli elektr maydonini hosil qiladi.

Tekis zaryadlangan cheksiz silindrik sirt hosil qilgan elektr maydonini hisoblash

Radiusi r ga teng bo'lgan silindrik sirt musbat zaryadlangan bo'lib, bir tekis $(+\lambda)$ chiziqli zaryad zichligi bilan zaryadlangan bo'lsin. Silindrik sirt hosil qilgan elektr maydondan hayoliy radius R ga va uzunligi l teng bo'lgan chekli silindrik sirt ajratib olaylik(1.14-rasm). U holda bu silindrning yon sirti $S = 2\pi Rl$ ga teng bo'ladi.

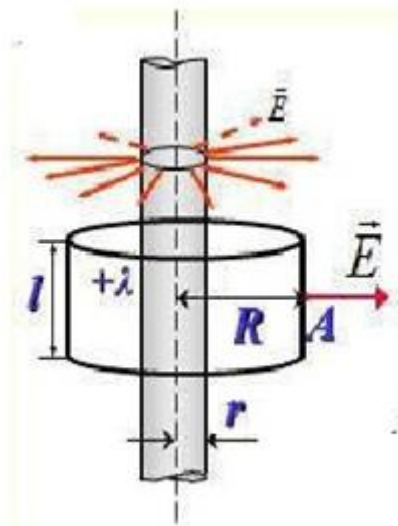
Silindrning asoslaridan o'tadigan oqim nolga teng, yon sirtlaridan o'tadigan kuchlanganlik oqimi:

$$\Phi_E = ES = 2\pi Rl \cdot E \quad (1.38)$$

ga teng bo'ladi. r radiusli silindrik sirtning l uzunlikka mos keluvchi q zaryadi

$$q = \sigma \cdot 2 \pi r l \quad (1.39)$$

ga teng bo'ladi.



1.14-rasm

Gauss teoremasiga asosan, kuchlanganlik oqimi

$$\Phi_E = \frac{q}{\epsilon_0} = \frac{\sigma 2 \pi r l}{\epsilon_0} \quad (1.40)$$

teng bo'lsa, (1.39) va (1.40) formulalarga asosan

$$2 \pi R l E = \frac{2 \pi r l \sigma}{\epsilon_0} \quad (1.41)$$

yoki

$$E = \frac{\sigma r}{\epsilon_0 R} \quad (1.42)$$

hosil qilamiz. Zaryadlarning sirt va chiziqli zichliklarini hisobga olib,

$$\sigma = \frac{q}{2\pi r l} \quad \text{va} \quad \lambda = \frac{q}{l},$$

quyidagilarni hosil qilamiz.

$$2\pi r l \sigma = \lambda l \quad (1.43)$$

yoki

$$\sigma = \frac{\lambda}{2\pi r} \quad (1.44)$$

(1.44) ifodani (1.43) ifodaga qo'yib,

$$E(r) = \frac{\lambda r}{2\pi r \varepsilon_0 R} = \frac{\lambda}{2\pi \varepsilon_0 R} \quad (1.45)$$

ifodani hosil qilamiz. Bu yerda agar $R < r$ bo'lsa, $E(r) = 0$ bo'ladi. $r = R$ bo'lsa,

$$E(r) = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} \quad (1.46)$$

ifoda hosil bo'ladi.

Shunday qilib, sirti tekis zaryadlangan cheksiz uzun silindrning ichida maydon nolga teng bo'ladi.

Hajm bo'yicha tekis zaryadlangan shar maydonining kuchlanganligi

Hosil bo'lgan maydon markaziy simmetrik bo'ladi. Shar ichida ($r < R$) zaryad

$$q = pV = p \frac{4}{3} \pi^3 \quad (1.47)$$

ga teng bo'ladi. Kuchlanganlik oqimi ta'rifiga ko'ra quyidagicha ifodalanadi

$$\oint E_n dS = E(r) 4\pi^2 \quad (1.48)$$

Gauss teoremasiga muvofiq.

$$\oint E_n dS = \frac{1}{\varepsilon_0} p \frac{4}{3} \pi^4 \quad (1.49)$$

(1.49) va (1.48) dan foydalanib,

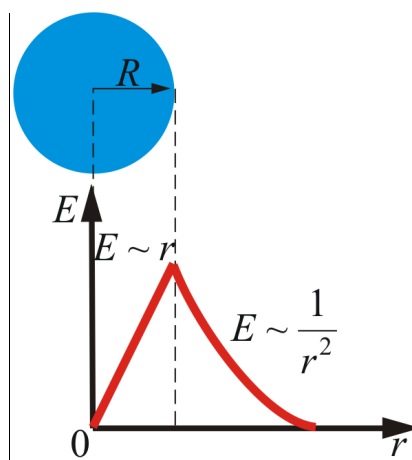
$$E(r) = \frac{1}{\varepsilon_0} p \frac{1}{3} r \quad (1.50)$$

Sharining $r < R$ bilan o'ralgan hajmidagi zaryadning zichligi:

$$\rho = \frac{q}{\frac{4}{3}\pi r^3} \quad (1.51)$$

$$E(r) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R^3} \cdot r \quad (1.52)$$

Shar ichidagi maydon kuchlanganligi radiusga proporsional ortadi. Shar tashqarisida esa, maydon kuchlanganligi radiusining kvadratiga teskari proporsional ravishda kamayadi (1.15-rasm).



1.15-rasm

1.5. Elektrostatik maydonda zaryadni ko'chirishda bajarilgan ish

Elektr maydonga joylashtirilgan har qanday zaryadga maydon kuchlari ta'sir etadi.

$$\mathbf{F} = q_0 \mathbf{E} \quad (1.53)$$

Tajribalar ko'rsatishicha, bu kuchlar markaziy kuchlar bo'lib, ularning maydoni potensial xarakterga ega bo'ladi. Markaziy kuchlar maydonida zaryadni ko'chirishda bajarilgan ish, zaryadining qanday trayektoriya bo'ylab, qanday tezlik va qanday yo'nalishda ko'chirilishga bog'liq bo'lmay, balki faqat zaryadning maydondagi boshlang'ich va oxirgi holat parametrlariga bog'liqdir.

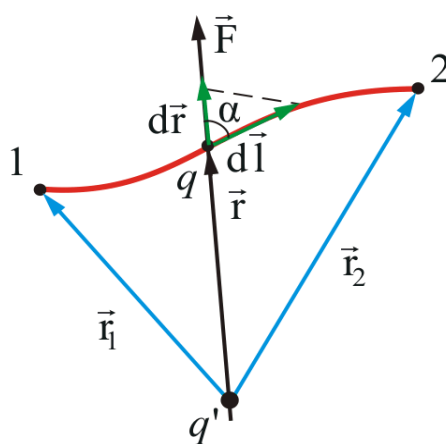
Qo'zg'almas q musbat zaryad maydonidagi q_0 sinov zaryadini ko'chirishda bajarilgan ishni hisoblaymiz (1.16-rasm). Zaryadni elementar dl masofaga ko'chirishda bajarilgan ish ta'rifga ko'ra,

$$dA = Fdl \cos \alpha \quad (1.54)$$

Nuqtaviy zaryad maydonining kuchlanganligi ifodasidan foydalanib:

$$F = q_0 E = q_0 \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad (1.55)$$

1.16-rasmdan, $r = dl \cos \alpha$ (1.56)



1.16-rasm

(1.54), (1.55) va (1.56) ifodalarga asosan q_0 sinov zaryadini ko'chirishda bajarilgan ish quyidagicha yozamiz.

$$dA = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_0 r^2} dr \quad (1.57)$$

(1.57) ifodani integrallab, zaryadni maydonning bir nuqtasidan ikkinchi nuqtasiga ko'chirishda bajarilgan ish uchun quyidagini hosil qilamiz:

$$A_{1_2} = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_0} \int_1^2 \frac{dr}{r^2} = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (1.58)$$

(1.58) dan, elektrostatik maydonda zaryadni ko'chirishda bajarilgan ish, zaryadning maydondagi boshlang'ich va oxirgi holat parametrlariga bog'liq degan

xulosa kelib chiqadi. Bu xulosani zaryadlarning istalgan sistemasi uchun umumlashtirish mumkin:

$q_1, q_2, q_3 \dots q_n$ zaryadlar sistemasi maydonida turgan q_0 sinov zaryadiga har bir zaryad mustaqil $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3 \dots \vec{F}_n$ ravishda kuch bilan ta'sir etadi.

Sinov zaryadini ko'chirishda bu kuchlarning bajarigan ishi to'la bajarilgan ish esa:

$$dA_1 = q_0 E_1 dr \quad dA_2 = q_0 E_2 dr;$$

$$dA_n = q_0 E_n dr$$

tarzida yoziladi.

Zaryadni bir nuqtadan ikkinchi nuqtaga ko'chirishda to'la bajarilgan ish:

$$\oint_1^2 q_0 (E_1 + E_2 + E_3 + \dots E_n) dr; \quad A = \oint_1^2 q_0 E dr \quad (1.59)$$

Agar q_0 zaryad berk kontur bo'yicha ko'chirilsa, elektr maydonida zaryadni ko'chirishda bajarilgan ish nolga teng bo'ladi:

$$A = \oint q_0 E dr = 0 \quad \text{yoki} \quad A = \oint q_0 E dl \cos a = 0 \quad (1.60)$$

(1.60) ifodadagi $\oint E dl \cos a$ yoki $\oint E dl$ dan iborat kattalik maydon kuchlanganligi vektorining sirkulyatsiya deb yuritiladi. Demak, elektr maydon kuchlanganligi vektorining berk kontur bo'yicha sirkulyatsiya nolga teng degan xulosa kelib chiqadi:

$$\oint E_l dl = 0 \quad (1.61)$$

Elektr maydon kuchlanganligi vektorining berk kontur bo'yicha sirkulyatsiyasi bu maydonning potensial maydon ekanligining yetarli va zaruriy sharti ifodasidir. Shunday qilib, elektr maydoni kuchlanganlik chiziqlari musbat zaryaddan boshlangan radial chiziqlardan iborat bo'lgan potensial maydondir degan xulosaga kelamiz.

1.6. Elektr maydonining potentsiali

Potensial maydonda joylashtirilgan har qanday zaryadlangan jism potensial energiyaga ega bo'ladi va bu energiyaning o'zgarishi hisobiga zaryadni ko'chirishda maydon kuchlari ish bajaradi.

Zaryadlar sistemasining potensial energiyasi

$$W_n = q_0 \int_{(q)} \frac{dq}{4\pi\epsilon_0 r} + C. \quad (1.62)$$

bunda integral sistemaning to'la q zaryadi bo'yicha olinadi, C - integrallash doimiysi bo'lib, uning qiymati elektrostatik maydondagi q₀ zaryadning potensial energiyasining sanoq boshini tanlanishiga bog'liq holda olinadi. Chekli cohani qamrab olgan zaryadlar sistemasi uchun q₀ zaryadning potensial energiyasi nolga teng bo'lgan nuqta sifatida zaryadlar sistemasidan cheksiz uzoqda bo'lgan nuqta olinadi va bu hol uchun C=0 deb qabul qilinadi.

Bunday sanoq sistemasida zaryadlar sistemasining potensial energiyasi quyidagi ko'rinishda topiladi:

$$W_n = q_0 \int_{(q)} \frac{dq}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (1.63)$$

Maydonga kiritilgan q₀ sinov zaryadining potensial energiyasi esa,

$$W = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{qq_0}{r} \quad (1.64)$$

ko'rinishda bo'ladi.

Turli sinov zaryadi maydonning tayinli bir nuqtada har xil qiymatli $W^1 W^2 W^3 \dots W^0$ energiyaga ega bo'ladi. Bu energiyaning sinov zaryadiga nisbati maydonning barcha nuqtalari uchun o'zgarmas kattalik bo'lib, elektr maydon potentsiali deyiladi.

$$\frac{W^1}{q_0} = \frac{W^2}{q_0} = \frac{W^3}{q_0} = \text{const} \quad (1.65)$$

U holda elektr maydon potentsiali qiyidagi ifoda bilan aniqlanadi.

$$\varphi = \frac{W}{q_0} \quad (1.66)$$

Birlik musbat zaryadining potensial energiyasi son jihatidan teng kattalik elektr maydon potentsiali deb ataladi.

(1.66) ifodani hisobga olib sinov zaryadining elektr maydondagi potensial energiyasi:

$$W = q_0 \varphi \quad (1.67)$$

Ish va energiyaning ekvivalentligidan foydalanib, zaryadni maydonning biror nuqtasidan boshqa nuqtasiga ko'chirishda bajarilgan ish ifodasini potenciallar ayirmasi orqali quyidagicha yozamiz:

$$A_{12} = W_2 - W_1 = q_0(\varphi_2 - \varphi_1) \quad (1.67)$$

Shunday qilib, elektr maydonida zaryadni ko'chirishda bajarilgan ish, ko'chirilgan zaryad miqdorini potenciallar ayirmasi ko'paytmasiga teng.

Yuqoridagi shartga ko'ra, $r \rightarrow \infty; W = 0$ yoki $\varphi = 0$ bo'lganligidan, zaryadni maydonning tayinli bir nuqtasidan cheksizlikka ko'chirishda bajarilgan ish topsak bo'ladi:

$$A_\infty = q_0 \varphi \quad (1.68)$$

(1.67) ifodadan

$$\varphi = \frac{A_\infty}{q_0} \quad (1.69)$$

kelib chiqadi. Demak, elektr maydon potensialini yana quyidagicha ta'riflasak bo'ladi:

Birlik musbat zaryadni elektr maydonining muayyan nuqtasidan cheksizlikka ko'chirishda bajarilgan ishga son jihatidan teng kattalik elektr maydonining potensial deb yuritiladi.

Potensialning o'lchov birligi qilib, halqaro birlikka sistemasi (SI)da 1 Volt qabul qilingan.

(1.69) formuladan potensialni o'lchov birligi

$$[\varphi] = 1 \text{ J/Kl} = 1 \text{ Volt} = 1 \text{ V}$$

kelib chiqadi.

Amalda voltning karrali birliklari ham ishlatiladi.

$$1 \text{ kV} = 10^3 \text{ V}$$

$$1 \text{ mV} = 10^{-3} \text{ V}$$

Agar maydonni zaryadlar sistemasi hosil qilayotgan bo'lsa, maydon potentsiali shu zaryadlar maydon potentsiallarining algebraik yig'indisiga teng, ya'ni

$$\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \dots + \varphi_n = \sum_{i=1}^n \varphi_i$$

Potensial maydonning mana shu xossasi, maydonni kuch xarakteristikasini ifodalovchi kuchlanganlikdan ustun turadi, chunki potensial skalyar kattalik, kuchlanganlik esa vektor kattalikdir.

1.7. Ekvipotensial sirtlar

E elektr maydon kuch xarakteristikasi bo'lsa, φ uning energitik xarakteristikasidir. Yagona obyektiv reallikning bu ikki xarakteristikasi orasidagi bog'lanishni aniqlash uchun ekvipotensial sirt tushunchasidan foydalaniladi. Bir xil potentsialli nuqtalarning geometrik o'rnidan iborat sirt ekvipotensial sirtlar deyiladi.

Ekvipotensial sirtlar fazoda shunday o'tkaziladiki, ikki qo'shni sirtlar potensialining har bir nuqtadagi ayirmasi ($\Delta\varphi = const$) bir xil bo'ladi.

Ma'lumki nuqtaviy zaryad maydonining potensial sirt radiusi ortishi bilan kamaya boradi.

Shu tufayli, zaryaddan birday uzoqlikdagi nuqtalar potentsiali bir xil bo'ladi.

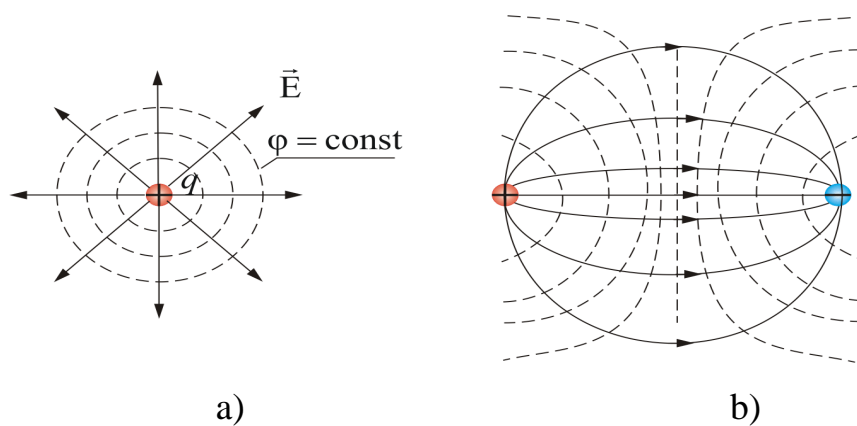
$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (1.70)$$

Agar q-zaryad ekvipotensial sirt bo'ylab, bir nuqtadan ikkinchi nuqtaga ko'chirilsa: ($\varphi_1 = \varphi_2$) bajarilgan ish nolga teng bo'ladi.

$$\left. \begin{aligned} A_{12} &= q(\varphi_1 - \varphi_2) = 0 \\ A_{12} &= qEdl \cos a = 0 \end{aligned} \right\} \quad (1.71)$$

(1.71) ifodadan nuqtaviy zaryad maydoni uchun kuchlanganlik chiziqlari ekvipotensial sirtlarga perpendikulyardir degan xulosa kelib chiqadi, chunki ekvipotensial sirtlar zich joylashgan nuqtada zaryadga katta kuch ta'sir etadi.

$$q \neq 0, E \neq 0, dl \neq 0, \text{ demak, } a = \pi/2 \quad \cos a = 0.$$



1.17-rasm

(1.17-a-rasm) Nuqtaviy zaryad maydonining ekvipotensial sirtlari.

(1.17-b-rasm) Dipol maydonining ekvipotensial sirtlari.

Agar q-zaryad, potensiali φ_1 nuqtadan, potensiali φ_2 nuqtaga ko'chirilsa:

$$\left. \begin{aligned} A_{12} &= qE \cdot dl \cos a = qEdr \\ A_{12} &= q(\varphi_1 - \varphi_2) = q[\varphi - (\varphi + d\varphi)] = -qd\varphi \end{aligned} \right\} \quad (1.72)$$

(1.72) dan quyidagini hosil qilamiz:

$$E = \frac{d\varphi}{dr} \quad (1.73)$$

(1.73) ifoda potensialning r-vektor bo'yicha o'zgarish tezligini bildiradi va potensial gradiyenti deb yuritiladi.

Elektr maydonning ixtiyoriy nuqtasidagi maydon kuchlanganligi vektorining koordinatalar o'qi bo'yicha tashkil etuvchilariga ajratsak, (1.73) quyidagi ko'rinishni oladi.

$$E_x = -\frac{\partial\varphi}{\partial x} i; \quad E_y = -\frac{\partial\varphi}{\partial y} j; \quad E_z = -\frac{\partial\varphi}{\partial z} k$$

Bu yerda i, j, k lar mos ravishda x, y, z o'qlar bo'yicha birlik vektorlardir. Maydon kuchlanganligi:

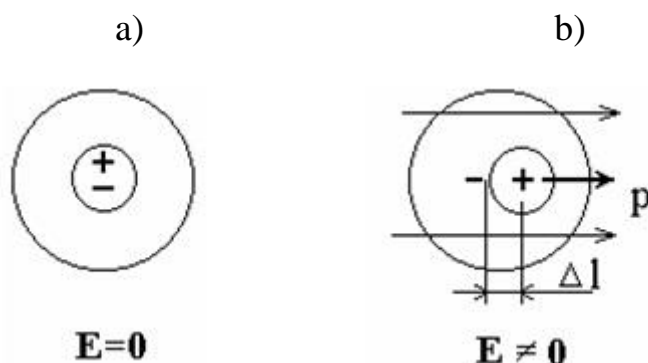
$$E = -\left(\frac{\partial\varphi}{\partial x} i + \frac{\partial\varphi}{\partial y} j + \frac{\partial\varphi}{\partial z} k\right) = -\text{grad } \varphi \quad (1.74)$$

Elektr maydon kuchlanganligi teskari ishora bilan olingan potensial gradiyentiga teng. Minus ishora kuchlanganlik vektorining potensial kamayish tomonga yo'nalganligini bildiradi

1.8. Elektr maydonda dielektriklar. Elektr siljish vektori

Elektr zaryadini uzatmaydigan, tarkibida erkin zaryadlari bo'lmagan moddalar dielektriklar deyiladi. Dielektriklarning elektr o'tkazuvchanligi metallarga nisbatan $10^{15} \div 10^{20}$ marta kam bo'ladi.

Dielektriklar struktura tuzilishiga ko'ra, *qutbli* va *qutbsiz* dielektriklarga bo'linadi. Tashqi elektr maydoni bo'lmaganda, musbat va manfiy zaryadlarining markazi umumiy bo'lgan molekullardan tashkil topgan moddalar qutbsiz dielektriklar deb yuritiladi (1.18a - rasm). Qutbsiz dielektriklarga olmos, benzol, azot, vodorod, oltingugurt va shunga o'xshash moddalar misol bo'ladi.

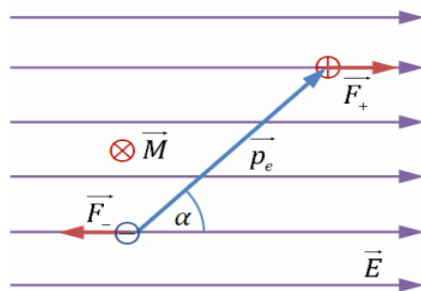


1.18-rasm

Tashqi elektr maydoni bo'lmaganda ham, musbat va manfiy zaryadlarining markazi siljigan, ionli bog'lanishga ega bo'lgan nosimmetrik molekullardan tashkil topgan moddalar qutbli dielektriklar hisoblanadi (1.18b - rasm). Qutbli dielektriklarga (NaCl), (KCl), (KBr), tuzlar, kvarts (SiO_2), korund (Al_2O_3), kabilar misol bo'ladi.

Tashqi elektr maydoniga kirilgan qutbsiz dielektrik modda atom molekullari tarkibidagi musbat va manfiy zaryadlar markazlari siljib, qutblanish hosil qiladi. Natijada jism sirtida bog'langan zaryadlar vujudga keladi. Qutbli dielektriklar ham tashqi elektr maydoni bo'lmaganda neytral bo'ladi, chunki molekullar dipol moment jism hajmida tartibsiz yo'nalgan.

Elektr maydonida qutbli dielektrik qutbli dielektrik modda molekullariga maydon kuchlari oriyentasion (yo'nalishga ega bo'lgan) kuchlar moment bilan ta'sir etib, noldan farqli qutblanish hosil qiladi (1.19-rasm).



1.19-rasm

$$M = Fh = qEl \sin \alpha \quad (1.75)$$

$P = ql$ dipol momentini hisobga olib:

$$M = Pe \quad (1.76)$$

Moddalarning qutblanishini hisobga olish uchun qutblanish vektori tushunchasi kiritiladi. Hajm birligidagi dipol moment vektorining algebraik yig'indisiga son jihatidan teng kattalik qutblanish vektori deb yuritiladi.

$$P = \frac{\sum p_1}{V} = \frac{P_v}{V} \quad (1.77)$$

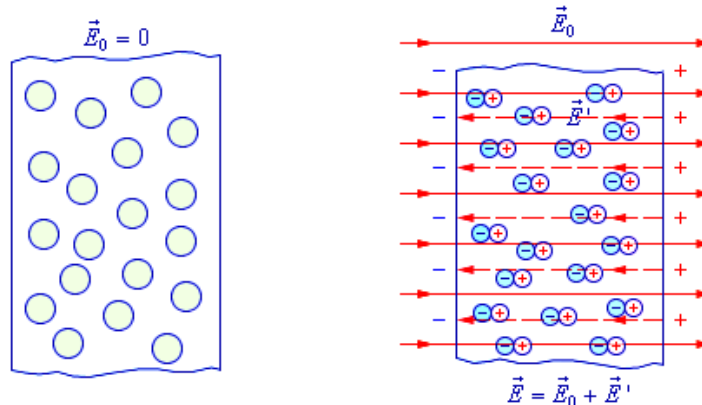
Bir jisimli elektr maydoniga joylashtirilgan, yuzasi S , qalinligi d bo'lgan dielektrikni kuzatamiz.

Tajribalar ko'rsatishicha,

$$P = \chi \epsilon_0 E \quad (1.78)$$

χ - moddaning tabiatiga bog'liq bo'lgan o'zgarmas kattalik bo'lib, dielektrik qabul qiluvchanlik deyiladi.

Qutblanish tufayli elektr maydon kuchlanganlik chiziqlari dielektrik chegarasida kesma uziladi. Maydon kuchlanganligi tashqi (erkin zaryad maydoni) va qutblanish tufayli vujudga kelgan bog'langan zaryadlar (ikki maydon) kuchlanganligi vektorining yig'indisidan iborat bo'ladi (1.20-rasm).



1.20-rasm

$$E = E_0 + E^1$$

Superpozitsiya prinsipiga asosan:

$$E = E_0 - E^1$$

$$E^1 = \frac{\sigma^1}{\epsilon_0}; \quad \sigma^1 = \frac{q}{S}$$

Ostrogradskiy-Gauss teoremasiga muvofiq:

σ^1 - bog'langan zaryadlarning sirt zichligi ta'rifiga ko'ra, dielektrik qatlam hajmidagi

$$P_v = PV = PSd \quad Pr = q_{bog'l}d = \sigma^1 Sd$$

dipol moment demak, bog'langan zaryadlar sirt zichligi qutblanish vektoriga son jihatidan teng degan xulosa kelib chiqadi.

$$\sigma^1 = P$$

Buni hisobga olib, moddaning maydoni kuchlanganligini

$$E = E_0 - \frac{\sigma^1}{\epsilon_0} = E_0 - \frac{P}{\epsilon_0} - \frac{\chi \epsilon_0 E}{\epsilon_0} \quad (1.79)$$

$$E_0 = E + \chi E = (1 + \chi)E \quad (1.80)$$

(1.80) dagi $(1 + \chi)$ ni ϵ - bilan belgilanadi va dielektrik kirituvchanlik deb ataladi.

$$\epsilon = (1 + \chi) = \frac{E_0}{E} \quad (1.81)$$

ε - elektr maydon kuchlanganligining dielektrik modda ichida qanchaga kamayganligini bildiradi.

ε - moddalarning kimyoviy tabiati, qutblanishi darajasi hamda temperaturasiga bog'liq. Temperatura ortishi bilan dipol momentlari elektr maydonida tartibsiz joylashib, qutblanish darajasini, shuningdeb dielektrik kirituvchanlikni ham kamaytiradi. Shunday qilib, elektr maydon kuchlanganligi, vakuumdan dielektrik chegarasiga o'tganida yoki ikki dielektrik muhit chegarasida keskin o'zgaradi. Maydonni hisoblashda bu o'zgarish ancha noqulayliklarga olib keladi. Bu noqulaylikni bartaraf etish uchun elektr induksiya (siljish) vektoridan foydalaniladi (1.78) ga asoslanib (1.79) dan:

$$D = \varepsilon_0 E + P = \varepsilon_0 E + \chi \varepsilon_0 E = (1 + \chi) \varepsilon_0 E \quad (1.82)$$

(1.82) va (1.81) ni, hisobga olib:

$$D = \varepsilon_0 \varepsilon E \quad (1.83)$$

\bar{D} -elektr induksiya vektori deb yuritiladi va Kl / m^2 bilan o'lchanadi.

Gauss teoremasiga muvofiq, vakuumda induksiya vektori oqimi uchun:

$$\oint D_n dS = \oint \varepsilon_0 E_0 dS = \varepsilon_0 \oint E_0 dS = \varepsilon_0 \sum \frac{q_{0,1}}{\varepsilon_0}$$

yoki

$$\Phi_D = \oint D_n dS = \sum q_1 \quad (1.84)$$

Ixtiyoriy berg sirt orqali elektr induksiya vektorining oqimi, shu sirt bilan chegaralangan zaryadlar algebraik yig'indisiga teng.

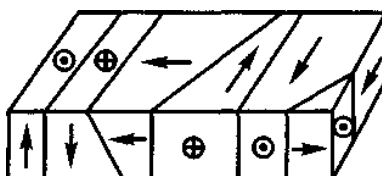
Agar zaryadlar biror hajmiy zichlig bilan taqsimlangan bo'lsa:

$$\oint_S D_n dS = \int \rho dV \quad (1.85)$$

tarzida yoziladi.

1.9. Signetoelektriklar

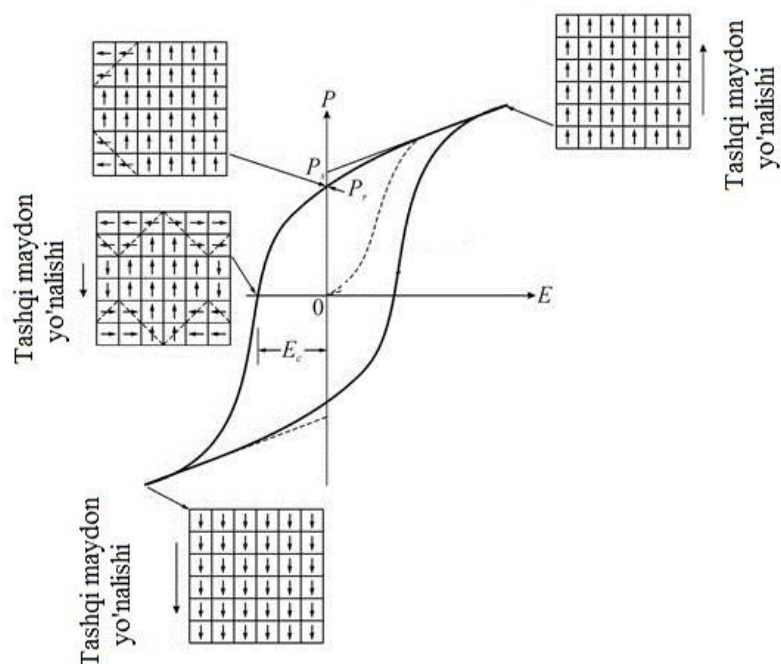
Dielektriklarning shunday alohida turlari borki, ular tashqi elektr maydoni bo'lmaganda ham, o'z-o'zidan to'yinish darajasigacha qutblangan elementar hajm (domenlar)ga bo'lingan bo'ladi (1.21-rasm). Domenlar dipol moment vektori tartibsiz yo'nalganligi sababligi, signetoelektrik jism dipol momentining algebraik yig'indisi nolga teng bo'ladi.



1.21-rasm

Elektr maydoniga kiritilgan signetoelektriklar qator hossalari bilan dielektriklardan farq qiladi: Normal sharoitda signetoelektriklarning dielektrik singdiruvchanligi dielektriklarinkidan 10^4 marta katta bo'ladi. Signetoelektriklarning birinchi vakilari segnet tuzi ($\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) va titanat bariylardir (BaTiO_3).

Signetoelektriklarning dielektrik singdiruvchanligi ularning nafaqat Kimyoviy tabiati, balki temperaturasi hamda qutblanish darajasiga ham bog'liq bo'ladi.



1.22-rasm

Agar segnetoelektrik o'zgaruvchi \vec{E} maydonga joylashtirilsa, undagi \vec{P} ning o'zgarishi gisterezis sirtmog'i (1.22-rasm) deb ataladigan berk egri chiziqdan iborat bo'ladi. Dastlab signetoelektriklar tashqi elektr maydonida P_i -to'yinish darajasigacha qutblanadi. Tashqi maydon kuchlanishi (E) kamayishi bilan qutblanish P sekin-asta kamayib, E=0 da P_0 -qoldiq qutblanishni vujudga keltiradi.

Qoldiq qutblanishni yo'qotish uchun jismga teskari yo'nalishda kuchlanish berilishi lozim. Qoldiq qutblanish nolga teng bo'lganda, signetoelektrikka yo'nalgan teskari kuchlanishning qiymati koersitiv kuch deb yuritiladi.

Elektr maydonining gisterezich sirtmog'i bo'yicha davriy o'zgarishida energiyaning yutilishi kuzatiladi. (Bu yo'qotilgan energiya signetoelektrikni qizdirish uchun sarflanadi).

Bunday xususiyat har bir segnetoelektrik uchun xos bo'lgan temperaturagacha yoki temperaturalar oralig'ida sodir bo'ladi. *Bu temperaturalarini Kyuri nuqtalari deyiladi.* Masalan: segnet tuzi uchun 258 K va 298 K (-15⁰S va +22,5⁰S) lar oraliida segnetoelektriklik xossalari namoyon bo'ladi. T_k -dan yuqori temperaturada signetoelektriklar o'z xususiyatlarini yo'qotib, qutbli dielektriklar kabi bo'lib qoladi.

Quyidagi ba'zi signetoelektriklarning Kyuri temperaturasi ko'rsatilgan:

2-jadval

Signetoelektrik nomi	Kimyoviy tarkibi	Kyuri temperaturasi
Titanat bariy	BaTiO ₃	406 ⁰ K (133 ⁰ C)
Niobit litiy	LiNbO ₃	1488 ⁰ K (1210 ⁰ C)
Signet tuzi	NaKC ₄ H ₄ H ₂ O	258 ⁰ K (-15 ⁰ C)- 298 ⁰ K(22,5 ⁰ C)

1.10. Pezoelektrik effekt

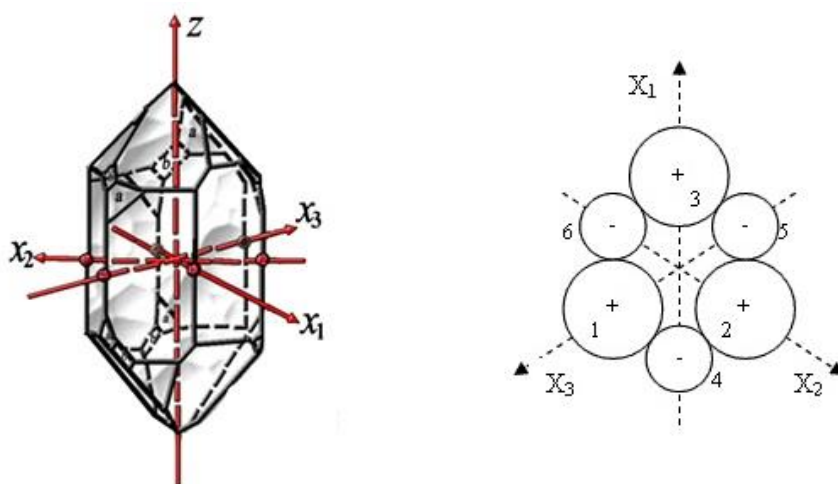
Ma'lumki, anizotrop moddalarning asosiy turlaridan biri ion panjaraviy tuzishga ega bo'lgan kristallardir.

Zarrachalarning kristall panjarada fazoviy to'g'ri taqsimlanishdan chetlanish pezoelektrik effekt deb ataluvchi effekti kuzatishga olib keladi. Pezoelektrik effekt 1880-yil aka-uka Jak va Pol Kyurilar tamonidan kashf etilgan. Hozirgacha 1800

taga yaqin pezo kristallar aniqlangan. Bunga barcha signetoelektriklar ham kiradi. Chunki ular ham pezoelektrik xususiyatga egadirlar.

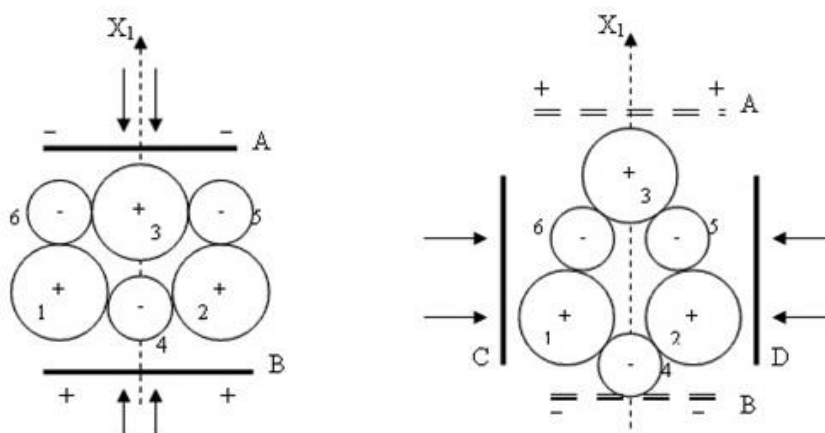
Kristal panjara tuzulishga ega jismlarni bazi yo'nalishlarda qisqanda yoki cho'zganda qutblanishdagi singari zaryadlar hosil kiladi (kvars, turmalin, segit tuzi, shakar, titanat, bariy).

Kristalning asosiy o'q Z optik o'q deb yuritiladi, qolgan olti yoqni uchlaridan o'tga X_1, X_2, X_3 yoqlariga perpendikulyar bo'lganlari elektr o'qlari deb yuritiladi. Rasmda 1, 2, 3 – kremniy ionlari, 4, 5, 6 – kislorodning ikkilangan ionlari, X_1, X_2, X_3 – simmetriya o'qlari. (1.23-rasm).



1.23-rasm

Agar kristaldan 1.24 - rasmda ko'rsatilganidek qilib qirqib olinsa: X o'qi bo'yicha siqilib qolgan, o'zaro perpendikulyar X o'qi yo'nalishida ikkita qarama qarshi ishorali zaryadlar hosil qiladi, to'g'ri bo'ylama pezoelektrik effekt deb yuritiladi.



1.24-rasm

Namuna Y o'qi bo'yicha bo'lganda esa o'zaro perpendikulyar X o'qlari bo'yicha qarama qarshi o'q hosil qiladi.

To'gri bo'ylama *pezoelektrik effekt* deb yuritiladi. Z-o'qi bo'yicha siqish yoki cho'zish pezoelektrik effekt vujudga keltirmaydi.

Bayon qilingan to'gri pezoelektrik effektidan tashqari teskari pezoelektrik effekt bo'ladi. Elektr maydon ta'sirida kristall o'lchamlari o'zgaradi. Yuzlarga volt potentsiallar ayirmasi berilganda o'lcham o'zgarishi 10^{-7} sm tartibda bo'ladi.

To'gri va teskari pezoelektrik effektlar hozirgi vaqtda texnikada keng qo'llaniladi. Ultra tovushlarni hosil qilish, tarqatish, elektr tebranishlarni stabillash, kuchaytirishda sismik o'lchov asboblarini tayyorlashda ishlatiladi.

1.11. Elektr maydonida o'tkazgichlar

Tarkibida erkin zaryadlari bo'lgan, elektr zaryadini yengil ko'chiradigan moddalar o'tkazgichlar deb ataladi. O'tkazgichlarga asosan metallar, elektrolitlar, ionlashgan gazlar misol bo'ladi. Aniqlik uchun biz quyida o'tkazgich deganda metall jismlarni nazarda tutamiz. Metallarda tok tashuvchilar vazifasini ularning tarkibidagi "erkin" elektronlar bajaradi. Erkin elektronlar juda kichik kuchlar ta'sirida ham harakatga kela olishadi.

Tashqi elektr maydoni bo'lmaganda manfiy zaryadli erkin elektronlarning elektr maydoni, metall atomlarining musbat zaryadlangan ionlari hosil qilgan maydon bilan o'zaro kompensatsiyalashgan bo'ladi.

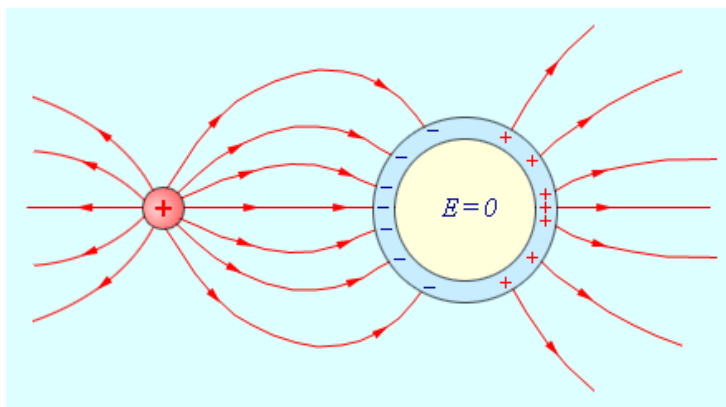
O'tkazgich elektr maydoniga kiritilsa uning erkin elektronlari shunday qayta taqsimlanadiki, oqibatda o'tkazgichning ichidagi ixtiyoriy nuqtalarda elektron va musbat ionlar xosil qilgan elektr maydoni, tashqi elektr maydonni kompensatsiyalaydi. Tashqi maydon ta'sirida o'tkazgichlardagi zaryadlarning qayta taqsimlanishiga *elektrostatik induksiya* deyiladi. Bu jarayonda hosil bo'lgan zaryadlar miqdoran teng, ishoralari esa qarama-qarshi bo'ladi. Tashqi elektr maydondan o'tkazgich chiqarilishi bilan shu zahoti mazkur zaryadlar g'oyib bo'lishadi. Elektrostatik maydonga kiritilgan o'tkazgichlardagi zaryadlar muvozanatda bo'lishi quyidagi shartlar bajarilishi bilan bog'liq:

bir xil ishorali zaryadlar bir-biridan qochganliklari uchun o'tkazgichlarga tashqaridan berilgan zaryadlar uning tashqi sirti bo'yicha taqsimlanadi. Shu sababli o'tkazgich ichida ortiqcha zaryadlar bo'lmaydi va uning ichidagi bir qism moddani olib tashlasa ham zaryadlarning tashqi sirt bo'yicha taqsimlanishi buzilmaydi, ya'ni zaryadlar ichi bo'sh jismlarda ham xuddi yaxlit o'tkazgichlardagi kabi ularning tashqi sirti bo'yicha taqsimlanadi(1.25-rasm)

o'tkazgichdagi ortiqcha zaryadlar uning sirtida taqsimlanganligi uchun o'tkazgichning ichidagi barcha nuqtalarda $E = 0$, uning sirti yaqinida esa $E = E_n$, ($E_t = 0$, aks holda zaryadlar sirt bo'ylab harakatga kelgan bo'lar edi).

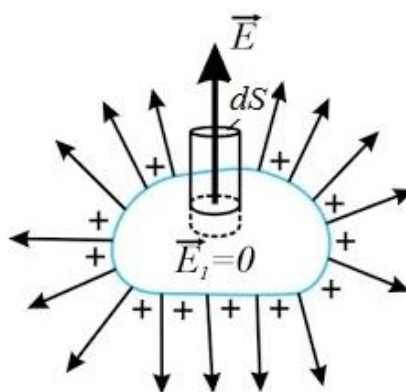
Elektr maydon potensialining gradiyendiga ko'ra:

$$E = -\frac{d\varphi}{dr}; \quad \varphi = const \quad (1.86)$$



(1.25-rasm)

Demak, o'tkazgich ichida va sirtidagi barcha nuqtalarning potentsiali bir xil bo'ladi, ya'ni o'tkazgich sirti *ekvipotensial sirt*dan iboratdir. (1.86) ifodalar zaryadlarni metallar sirtida tekis taqsimlanish shartlari deb ataladi. Zaryadlarning tekis taqsimlanish shartiga ko'ra, maydon kuchlanganlik chiziqlari jism sirtida uning har bir nuqtasiga perpendikulyar bo'lishi kelib chiqadi (1.26-rasm).



1.26-rasm

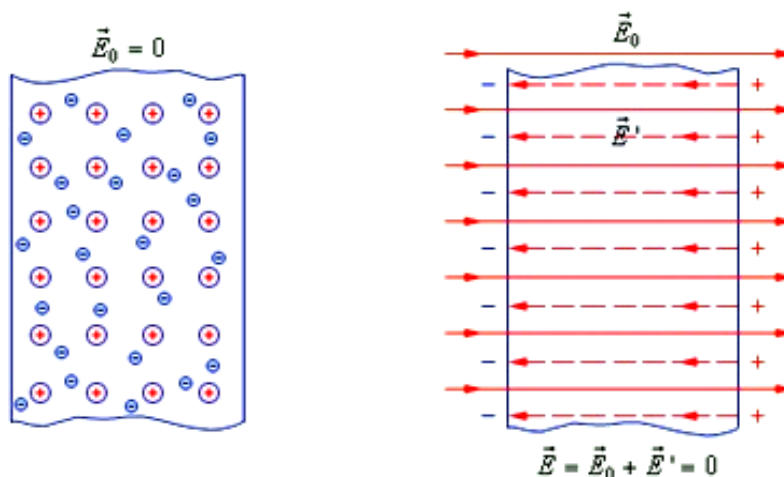
Elektr maydoniga joylashtirilgan o'tkazgichlarda, nafaqat unga uzatilgan zaryadlar, balki uning tarkibidagi mikro zaryadlar ham, musbat zaryadlari maydon yo'nalishida, manfiylari esa qarama-qarshi yo'nalishda kuchib, induksiyalangan sirt zaryadlarini vujudga keltiradi.

Bu zaryadlarning maydon kuchlanganligi ham Ostrogradskiy-Gauss teoremasiga muvofiq, zaryadning sirt zichligiga proporsional bo'ladi.

$$E^1 = \frac{\sigma^1}{\varepsilon_0} \quad (1.87)$$

Tashqi maydon kuchlanganligining chiziqlari induksiyalangan manfiy zaryadlarda uziladi va yana zaryadlardan boshlanadi. Metall ichida maydon kuchlanganligi $E=0$ bo'ladi (1.26-rasm). Metall tashqarisida esa:

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_0 + \mathbf{E}^1 \quad (1.88)$$



1.26-rasm

Metallarda zaryadlarning taqsimlanishida uning kovak yoki yaxlit bo'lishi muhim ahamiyatga ega emas. Zaryad faqat metallning sirti bo'ylab, (kovak va yaxlit metallda ham) birday zichlik bilan tekis taqsimlanadi.

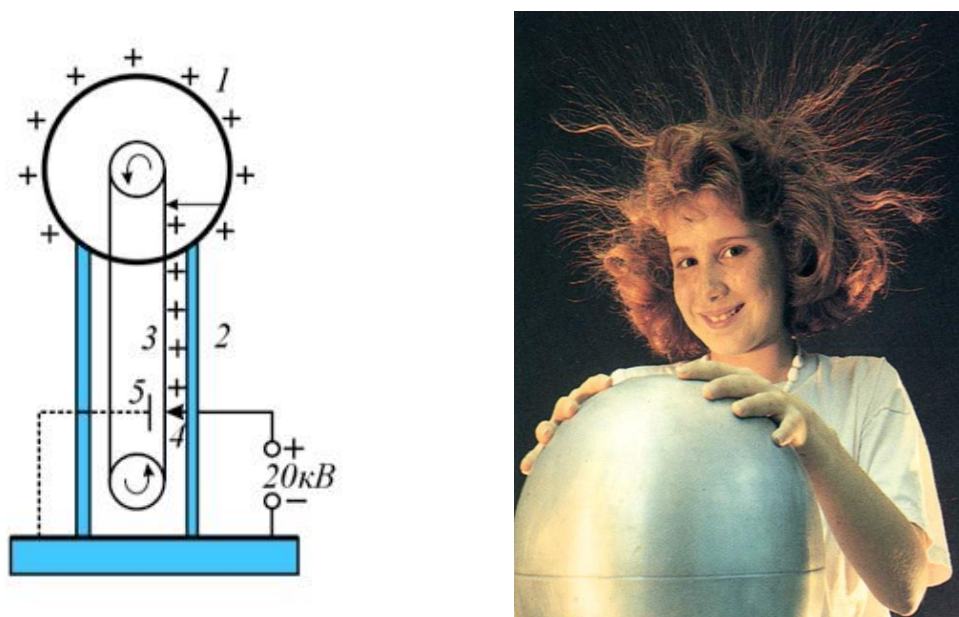
O'tkazgichlarning bunday xususiyatidan yuqori kuchlanish manbai olishda, zaryadlarning elektrostatik generatorini yasashda, elektr kuchlaridan himoyalashda, yashin qaytargich sifatida foydalaniladi.

Van-de-Graaf generatori

Yuqorida qayd qilganimizdek, agar zaryadlangan metall sharcha boshqa zaryadlanmagan metall sharchaning tashqi sirtiga tekkizilsa, ularning potentsiallari tenglashib qolgunga qadar uning zaryadi har ikki sharchalar o'rtasida qayta taqsimlanadi. Ammo zaryadlangan sharcha kovak o'tkazgichning (sharchaning) ichki sirtiga tekkizilsa, o'tkazgichning ichida ortiqcha zaryad bo'la olmaganligi uchun, uning zaryadi to'lasicha o'tkazgichga o'tib, uning tashqi sirti bo'ylab taqsimlanib qoladi. Mazkur jarayonni ko'p marta takrorlash orqali o'tkazgich potentsialini oshirish mumkin. Shunday usul bilan yuqori kuchlanish hosil qilishga imkon beradigan elektrostatik generator Gollandiyalik olim Van-de-Graaf tomonidan kashf etilgan (1920y). Uning generatori quyidagicha ishlaydi.

Genaratorning asosiy qismi konduktor deb ataladigan kovak metall shardan 1 iborat bo'lib, izolyator ustunga 2 o'rnatilgan. Zaryad mashinasida hosil qilingan zaryad taroq 4 orqali rezina aralash ipak gazlamali lentaga 3 o'zatiladi. Zaryad lentadan taroq 6 orqali konduktorga o'tadi (1.27-rasm).

Konduktor zaryadi ortishi bilan uning potentsiali ham orta boradi. Bunday generatorlar yordamida erishish mumkin bo'lgan potentsiallar ayirmasi 10^7V gacha bo'ladi. Elektrostatik generatorlardan zaryadli zarrachalarni tezlatgichlari sifatida yadro reaksiyalarini hosil qilishda foydalaniladi.



1.27-rasm

1.12. Yakkalangan o'tkazgich elektr sig'imi

Yakkalangan o'tkazgichga q -zaryad miqdori zaryad berib zaryadlasak, uning atrofida kuchlanganligi E , potentsilai φ - bo'lgan elektr maydoni vujudga keladi. Zaryadlangan har qanday jismni nuqtaviy zaryadlar sistemasi deb qarash mumkin (1.27 - rasm). Nuqtaviy zaryadlar sistemasi maydoning kuchlanganligi esa superpozitsiya prinsipiga ko'ra:

$$E = \sum E_i = \int \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{dq}{r^2} \quad (1.89)$$

ϵ - o'tkazgich joylashgan muhitning dielektr singdruvchanligi

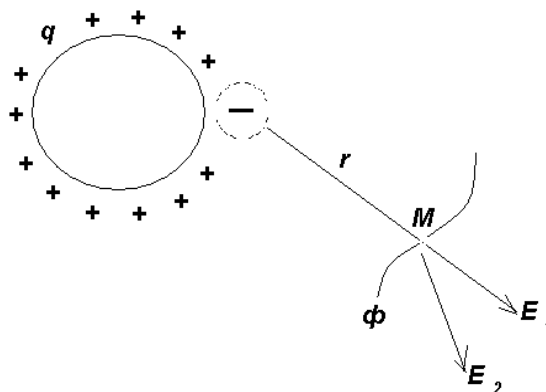
Ma'lumki, elektr maydon kuchlanligi, teskari ishora bilan olingan potensial gradientiga teng:

$$E = -\frac{d\varphi}{dr},$$

$$\varphi = -\int_{\varphi}^0 d\varphi = -\int_{\varphi}^0 E dr = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r} \quad (1.90)$$

Tashqi shartlar o'zgarmaganda, zaryadlangan jism elektr maydoni potentsiali unga berilgan zaryad miqdoriga proporsionaldir.

$$\varphi \sim q \quad (1.91)$$



1.28 – rasm

(1.91) ga proporsionallik koeffisientini kiritib:

$$\varphi = \frac{1}{C} \cdot q \quad (1.92)$$

C - proporsionallik koeffisienti bo'lib, yakkalangan o'tkazgichning elektr sig'imi deb yuritiladi.

$$C = \frac{q}{\varphi} \quad (1.93)$$

O'tkazgich potentsialini bir voltga oshirish uchun unga son jihatdan qanday zaryad miqdori berilishini ko'rsatadigan kattalik *elektr sig'imi* deb yuritiladi.

Elektr sig'imining birligi qilib, 1 Farada qabul qilingan

$$1F = 1 \frac{Kl}{V}$$

Bir Faradani tasavvur qilish uchun yer sharining elektr sig'imini hisoblaymiz. (1.91) va (1.93) dan:

$$C = \frac{q}{q / 4\pi\epsilon\epsilon_0 r} = 4\pi\epsilon\epsilon_0 r \quad (1.94)$$

$$C = 4 \cdot 3.141 \cdot 8.86 \cdot 10^{-12} \cdot 6400000m \approx 7 \cdot 10^{-5} F \approx 700mkF \quad (1.94) \text{ dan,}$$

$$r = \frac{1F}{43.148.85 \cdot 10^{-12} F/M} = \frac{1F}{111.16 \cdot 10^{-2} F/M} = 0,0090 \cdot 10^{12} m = 9 \cdot 10^9 m = 9 \cdot 10^6 km$$

1 Farada sig'imga ega bo'lish uchun, jismning radiusi $9 \cdot 10^6 km$ ya'ni yer radiusidan 1500 marta katta bo'lishi kerak. Yerning radiusi esa 6400 km.

Bundan ko'rinib turibdiki, bir Farada juda katta o'lchov birlik bo'lib, shu tufayli amalda Faradaning ulishli birliklari qo'llaniladi.

$$10^{-6} F = 1mkF$$

$$10^{-9} F = 1nF$$

$$10^{-12} F = 1pkF$$

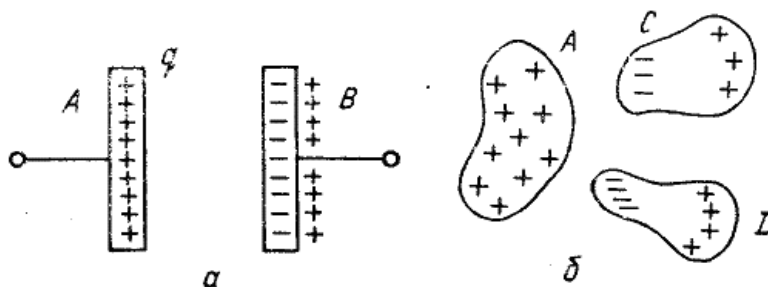
1.13. Kondensatorlar

Tajribalar ko'rsatishicha, yakkalangan o'tkazgichning elektr sig'imi jism shakli, uning o'lchami va u joylashgan muhit hossalari bog'liq bo'ladi.

Yakkalangan o'tkazgichlarning elektr sig'imi juda kam bo'ladi, geometrik o'lchamlari esa, katta bo'ladi. Masalan, Yer sharining elektr sig'imi taxminan 700 mkF ga teng bo'ladi. Yakkalangan zaryadli o'tkazgichga ikkinchi bir zaryadlanmagan o'tkazgichni yaqin keltirsak, uning sig'imi keskin ortib ketar ekan.

Bu hodisani quyidagicha tushuntirish mumkin. Zaryadlangan o'tkazgichning elektr maydoni unga yaqin keltirilgan ikkinchi neytral o'tkazgichning zaryadlarini qayta taqsimlanishiga majbur qiladi (1.29-rasm), ya'ni neytral o'tkazgichda

induksiyalangan zaryadlar hosil bo'ladi. Aytaylik birinchi o'tkazgich musbat zaryadlangan bo'lsin ($+q$), u holda ikkinchi o'tkazgichda manfiy ishorali induksiyalangan zaryadlar birinchi o'tkazgichga yaqinroq, bo'ladi (1.29-rasm). Bu holda o'tkazgichning potentsiali keskin kamayadi, chunki o'tkazgichning potentsiali birinchi o'tkazgichning xususiy ($+q$) zaryadlar potentsiali va ikkinchi jismda



1.29-rasm

induksiyalangan manfiy zaryadlar potentsialining algebraik yig'indisiga teng bo'ladi. Ikkinchi tomondan biz yuqorida ko'rib o'tdikki, har qanday elektr maydoniga neytral o'tkazgich kiritilsa u yerda elektr maydon kuchsizlanadi (1.29-rasm), bu o'tkazgichning potentsiali kamaydi degan so'z, (1.29) ifodaga asosan uning sig'imi oshganini anglatadi.

A o'tkazgich zaryadlangan jism V, S va D neytral o'tkazgichlar L ga yaqin keltirilganda ularda rasmda ko'rsatilganidek induksiyalangan zaryadlar hosil bo'ladi. q zaryad hosil qilgan maydon kamayadi (kuchsizlanadi), uning potentsiali ham kamayadi pirovardida A o'tkazgichning sig'imi keskin ortadi. Yuqoridagi natijalardan shunday xulosaga kelamiz, ya'ni shunday o'tkazgichlar sistemasini tuzish mumkinki, ularning sig'imi yakka o'tkazgichlarning sig'imidan juda katta bo'ladi, yana bir muhim tomoni uni o'rab turuvchi atrofdagi jismlarga bog'liq bo'lmaydi. O'tkazgichlardan tuzilgan bunday qurilmalarga kondensatorlar deb ataladi(1.30-rasm).

Har qanday kondensator ikki o'tkazgichdan iborat sistema bo'lib, o'tkazgichlarni uning qoplamalari deyiladi. Qoplamalarning geometrik shakliga qarab, ularni yassi, sferik va slindrik kondensatorlarga ajratamizi. Odatda

kondensator qoplamalari bir-biriga nisbatan shunday joylashtiriladiki, ularga miqdorlari bir xil va ishoralari qarama-qarshi zaryad berilganda hosil bo‘ladigan elektr maydoni qoplamalar orasida mujassamlashgan bo‘ladi. Bunga qoplamalar orasidagi masofa d ni, ular qoplamalarning chiziqli o‘lchamlariga nisbatan ancha kichik qilish yo‘li bilan erishiladi.

Kondensatorning asosiy xarakteristikasi ularning sig‘imi bo‘ladi. Agar yakka-langana o‘tkazgichning sig‘imi undagi zaryad miqdorining (q) o‘tkazgichning potensialiga (φ) nisbati bilan aniqlansa, kondensatorlarning sig‘imi kondensatorda yig‘ilgan zaryad miqdorining (q) kondensator qoplamalari orasidagi potentsiallar farqiga ($\Delta\varphi$) nisbati bilan aniqlanadi, ya'ni

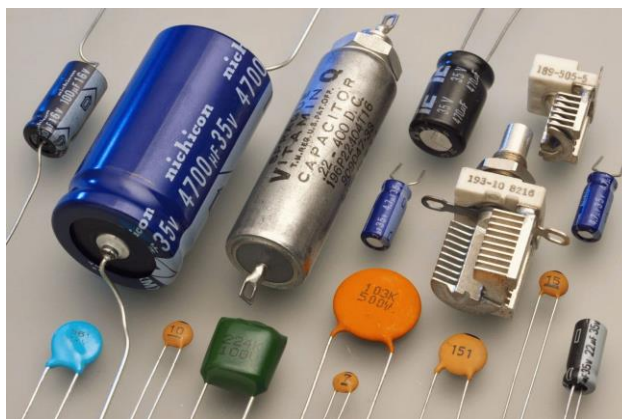
$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2}, \quad (1.95)$$

Ikki nuqta potentsialining ayirmasi esa kuchlanish deb yuritiladi.

$$\varphi_1 - \varphi_2 = U$$

U holda kondensator sig‘imi $C = \frac{q}{U}$ (1.96)

bilan ham aniqlanadi. Demak, *kondensator sig‘imi deb, qoplamalardan biridagi zaryad kattaligining qoplamalar orasidagi kuchlanishga nisbatiga aytiladi.*



1.30-rasm

Yassi kondensatorlarning sig'imi.

Bir biridan d masofada joylashgan, har birining yuzasi S bo'lgan ikki paralel metall plastinkalardan iborat sistemani *yassi kondensator* deyiladi (1.31-rasm).

$\sqrt{S} \gg d$, bo'lgani uchun kondensator qoplamalarini cheksiz zaryadlangan tekisliklar deb qarab, ular orasidagi maydon kuchlanganligini

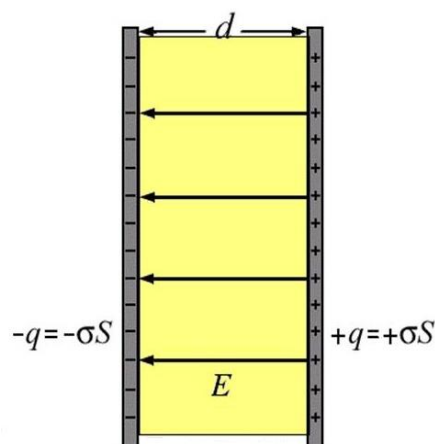
$$E = E_+ = E_- = \sigma / \varepsilon_0 \quad (1.97)$$

ifoda yordamida hisoblash mumkin.

U holda qoplamalar orasidagi potentsiallar ayirmasi:

$$U = Ed = \sigma d / 2\varepsilon_0 \quad (1.98)$$

bu erda d - plastinkalar orasidagi masofa.



1.31-rasm

Umumiy holda (1.97) va (1.98) ifodalardan foydalanib,

$$C = \frac{q}{\sigma/\varepsilon_0 \cdot d} = \frac{q \cdot \varepsilon_0}{\sigma \cdot d} \quad (1.99)$$

hosil qilamiz. Sirt zichligini hisobga olib, (1.00) ni quyidagicha yozamiz:

$$C = \frac{q \varepsilon_0}{\frac{q}{S} \cdot d} = \frac{\varepsilon_0 S}{d} \quad (1.100)$$

(1.100) ifoda yassi kondensator sig'ining tenglamasini ifodalaydi. Yassi kondensatorning sig'imi zaryadga bog'liq bo'lmay, qoplamaning yuzasiga to'g'ri proporsional va qoplamlar orasidagi masofaga teskari proporsional bo'lar ekan.

Agar qoplamlar orasiga dielektrik kiritilgan bo'lsa, potentsiallar farqi dielektrik kirituvchanlik (ϵ) marta kamayadi,

$$\varphi'_1 - \varphi'_2 = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{\epsilon} \quad (1.101)$$

u holda kondensatorning sig'imi marta ko'payadi, ya'ni

$$C = \epsilon C_0 = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d} \quad (1.102)$$

bu yerda, C_0 - kondensatorning vakuumdagi sig'imi, S -kondensator qoplamasining yuzi, d -qoplamlar orasidagi masofa. (1.102) dan ko'rinadiki, qoplamlar orasiga dielektrik kirituvchanligi (ϵ) katta bo'lgan dielektrik kiritish bilan kondensatorning sig'imini keskin orttirish mumkin ekan. Amalda ana shu usuldan foydalaniladi.

Yassi kondensator qoplamalari orasidagi masofa kamaytirilsa, dielektrikning izolyatorlik sifati yo'qolib "teshilish" sodir bo'ladi, shu tufayli masofani biror minimal qiymatdan ortiq kamaytirib bo'lmaydi.

$$U_T = d_{min} E \quad (1.103)$$

bilan aniqlangan kuchlanish "teshilish" kuchlanishi deyiladi.

Sferik kondensatorning sig'imi.

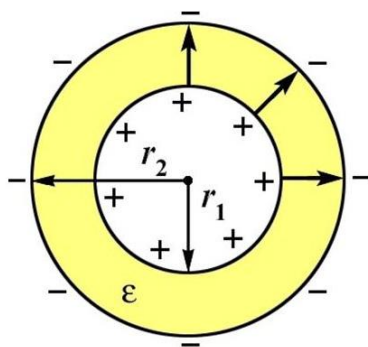
Sferik kondensatorlar ikkita og'irlik markazlari bir nuqtada yotuvchi kovak sferadan iborat bo'ladi. Bu kondensatorning ichki va tashqi qoplamasining radiuslari mos ravishda r_1 va r_2 ga teng bo'lsin ($r_2 > r_1$).

Ichki qoplamaga $q > 0$, tashqi qoplamaga esa $q < 0$ zaryad berilgan bo'lsin (1.32-rasm). Bizga Ma'lumki, zaryadlangan sfera fazasi o'zidan tashqarida elektr maydon hosil qiladi. Qoplamlar musbat va manfiy zaryadlar bilan zaryadlanganliklari uchun ular tomonidan hosil qilingan elektr maydoni tashqi qoplamaning tashqarisida bir-birini yo'qotadi. Shuning uchun kondensator

qoplamalari orasidagi maydon ichki qoplamaning q zaryadi hosil qilgan maydondan iborat bo'ladi. U holda qoplamalari orasidagi maydon kuchlanganligi:

$$\vec{E} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R^2} \quad (1.104)$$

ga teng bo'ladi.



1.32-rasm

Kondensator qoplamalari orasidagi potentsiallar farqi esa,

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_{r_1}^{r_2} E dr \quad (1.105)$$

ifoda bilan aniqlanadi. (1.105) ifodaga (1.104) ifodani qo'yib, bu tenglamani r_1 dan r_2 gacha oraliqda integrallaymiz,

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_{r_1}^{r_2} \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R^2} dR = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dR}{R^2} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (1.106)$$

yoki

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (1.107)$$

hosil qilamiz. Bu ifodani (1.96) ifodaga qo'yib, sferik kondensator uchun sig'im tenglamasini hosil qilamiz.

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} = 4\pi\epsilon_0 \frac{r_1 \cdot r_2}{r_2 - r_1} \quad (1.108)$$

Qoplamalarning oralig'i dielektrik bilan to'ldirilsa, uning sig'imi ϵ - marta ortadi, ya'ni

$$C = \varepsilon C_0 = 4 \pi \varepsilon \varepsilon_0 \frac{r_1 \cdot r_2}{r_2 - r_1} \quad (1.109)$$

ga teng bo'ladi.

Silindrik kondensatorning sig'imi

Umumiy o'qqa ega bo'lgan va bir-biriga kiydirilgan ikkita yupqa devorli metal silindrdan iborat qurilmaga silindrik kondensator deyiladi. (1.33-rasm). r_1 radiusli ichki qoplamaga musbat, r_2 radiusli tashqi qoplamaga manfiy q zaryad berilgan bo'lsin. Sferik kondensatorlar uchun ko'rsatilgan shartlarga ko'ra, qoplamalar orasida mujassamlashgan elektr maydon ichki qoplamaning zaryadlari tomonidan hosil qilinadi.

Bunda $r_2 - r_1 = d \ll \ell$ shart bajarilsa cheksiz uzun silindrlar deb ular orasidagi maydon kuchlanganligini hisoblash mumkin:

$$\int E ds = \frac{q}{\varepsilon_0 \varepsilon}$$

$$E 2\pi r l = \frac{q}{\varepsilon_0 \varepsilon} \quad (1.110)$$

$$E = \frac{q}{2\pi \varepsilon_0 \varepsilon r}$$

Maydon kuchlanganligi bilan potensnallar farqi orasidagi bog'lanish formulasidan foydalanib,

$$\varphi_1 - \varphi_2 = E \cdot dr = \frac{q dr}{2\pi \varepsilon_0 l r} \quad (1.111)$$

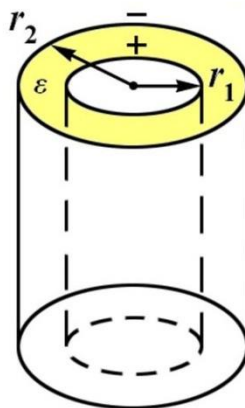
ifodani hosil qilamiz (1.111) ning o'ng tomonini q va l o'zgarmas bo'lgan hol uchun r_1 , va r_2 masofalar oralig'ida integrallab,

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_{r_1}^{r_2} \frac{q dr}{2\pi\epsilon_0 l r} = \frac{q}{2\pi\epsilon_0 l} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (1.112)$$

ga tengligiga ishonch hosil qilamiz. Demak, silindrik kondensatorning sig'imi

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} = \frac{2\pi\epsilon_0 l}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (1.113)$$

teng bo'lar ekan. Bu yerda l - kondensatorning uzunligi. r_1 , - ichki silindrning radiusi, r_2 -tashqi silindrning radiusi



1.33-rasm

Kondensatorlar sig'imini kerakli maqsadga muvofiq o'zgartirish uchun ularni ketma-ket yoki parallel qilib ulanadi.

Agar qoplamalarning oralig'i dielektrik bilan to'ldirilgan bo'lsa, sig'imi ϵ marta ortadi

$$C = \epsilon C_0 = \frac{2\pi\epsilon\epsilon_0 l}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (1.114)$$

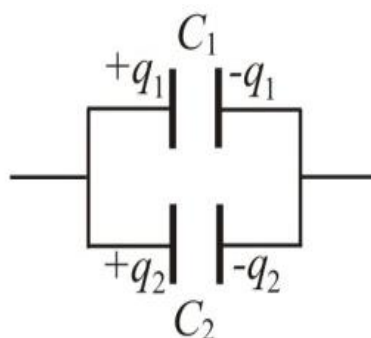
C_0 – silindrik kondensatorning vakuumdagi sig'imi.

Kondensatorlar sig'imini kerakli maqsadga muvofiq o'zgartirish uchun ularni ketma-ket yoki parallel qilib ulanadi.

Kondensatorlarni parallel ulash

Kondensatorlarni parallel ulash 1.34-rasmda ko'rsatilgan. Parallel ulangan kondensatorlarning qoplamlari orasidagi potentsiallar ayirmasi $\varphi_1 - \varphi_2$ bir xil bo'ladi. Ularning qoplamlarida to'plangan zaryadlar esa mos xolda

$$q_1 = C_1 U; \quad q_2 = C_2 U$$



1.34-rasm

Kondensator batareyasining zaryadi

$$q = \sum_{i=1}^n q_i = (C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n)(\varphi_1 - \varphi_2).$$

Batareyaning to'la sig'imi

$$c = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} = c_1 + c_2 + \dots + c_n = \sum_{i=1}^n c_i \quad (1.115)$$

Demak, umumiy sig'im ulangan kondensatorlar sig'imlarining yig'indisiga teng bo'ladi.

Agar $C_1 = C_2 = \dots = C_0$ bo'lgan n ta kondensatorlar parallal ulangan bo'lsa, kondensator batareyasining to'la sig'imi

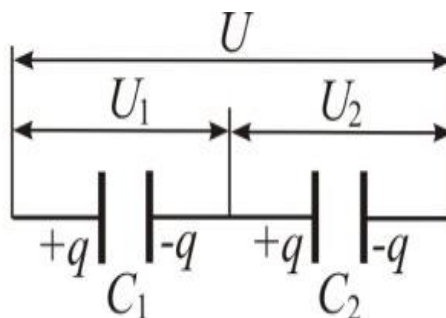
$$C_t = n \cdot C_0 \quad \text{bo'ladi}$$

Kondensatorlarni ketma-ket ulash

Kondensatorlarni ketma-ket ulash 1.35-rasmda ko'rsatilgan. Bunda barcha kondensatorlardagi zaryad miqdori bir xil va kondensatorlar batareyasining zaryadiga teng, kondensatorlar uchlaridagi potentsiallar ayirmasi esa turlicha bo'ladi. Umumiy kuchlanish har bir kondensator qoplamalaridagi kuchlanishlarning yig'indisiga teng bo'ladi:

$$U = U_1 + U_2 = q\left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}\right)$$

$$U = q\left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}\right) = q/C$$



1.35-rasm

Kondensator batareyasining to'la elektr sig'imi:

$$\frac{1}{C_b} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n} = \sum \frac{1}{C_i} \quad (1.116)$$

Agar ketma-ket ulangan kondensatorlar batareyasi ikkita kondensatoridan iborat bo'lsa,

$$C_b = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} \quad (1.117)$$

1.14. Elektr maydon energiyasi

Ma'lumki, elektrostatik kuchlar konservativ kuchlardir. Konservativ kuchlarning bajargan ishi zaryadni qanday trayektoriya bo'ylab, qanday tezlik bilan va qanday yo'nalishda ko'chirishga bog'liq bo'lmay faqat boshlang'ich va oxirgi holat parametrlari orqali aniqlanadi.

Konservativ kuchlar maydonida to'rgan jism potensial energiyaga ega bo'ladi. Maydon kuchlari ana shu energiya hisobidan ish bajaradi.

O'zaro ta'sirlashayotgan ikkita zaryadlangan jismlarni ko'rsak, ularning har biri ikkinchisining maydonida

$$W_2 = q_2 \varphi_{21} \quad (1.117)$$

$$W_1 = q_1 \varphi_{12};$$

Potensial energiyaga ega bo'ladi.

φ_1, φ_2 — lar mos holda q_1 va q_2 zaryadlangan jismlarning berilgan nuqtada hosil qilgan potenciallari bo'lib, y quyidagicha ifodalanadi.

$$\varphi_{1,2} = \frac{q_2}{4\pi\epsilon_0 r_{12}}, \varphi_{2,1} = \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0 r_{21}}$$

(1.118)

(1.117) dan (1.118) ni hosil qilamiz.

$$W_1 = W_2 = W \quad \text{yoki} \quad W = q_1 \varphi_{12} = q_2 \varphi_{21} \quad (1.119)$$

Sistemaning energiyasi ifodasiga ko'ra ikkala zaryad ham simmetrik ravishda kirishi uchun (1.119) ni quyidagi ko'rinishda yozamiz:

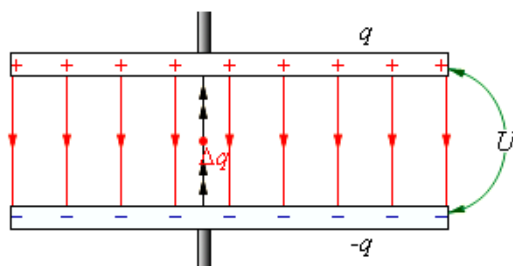
$$W = \frac{1}{2} (q_1 \varphi_{12} + q_2 \varphi_{21}) \quad (1.120)$$

Bu ifoda barcha zaryadlar sistemasi uchun o'rinli bo'lib, umumiy holda

$$W = \frac{1}{2} \sum q_i \varphi_i \quad (1.120)$$

(1.120) zaryadlar sistemasi maydonining energiyasini ifodalaydi.

Zaryadi q – bo'lgan o'tkazgich zaryadini dq -ga oshirish uchun potensial φ - bo'lgan maydon kuchlari ustidan ma'lum bir ish bajarish lozim.



$$dA = \varphi \cdot dq = \frac{1}{C} \cdot q \cdot dq \quad (1.121)$$

Bu ish o'tkazgichning potensial energiyasini oshirishga sarflanadi.

$$dA = dW = \frac{1}{C} dqd \quad (1.122)$$

(1.122) ni integrallab, yakkaLANGAN o'tkazgichning potensial energiyasini hosil qilamiz.

$$W = \frac{q^2}{2C} + const \quad (1.123)$$

Boshlang'ich shartga ko'ra $const=0$, chunki zaryadlanmagan o'tkazgich elektr energiyasiga ega emas.

Elektr sig'imi va potentsiali oralig'idagi munosabatni hisobga olib (1.123) ni quyidagicha ifodalash mumkin.

$$W = \frac{q^2}{2C}; \quad W = \frac{q \cdot \varphi}{2}; \quad W = \frac{C\varphi^2}{2} \quad (1.124)$$

Zaryadlangan kondensator energiyasini ifodalash uchun φ –potensial o'rniga qoplamalar orasidagi potenciallar ayirmasi $\varphi_1 - \varphi_2 = U$ dan foydalanish kifoya.

$$W_k = \frac{q^2}{2C}; \quad W = \frac{q \cdot U}{2}; \quad W = \frac{CU^2}{2} \quad (1.125)$$

Ma'lumki, zaryadlangan o'tkazgich ichida elektr maydon bo'lmaydi, shu tufayli maydon ham energiya ham fazoda kuchlanganlikka bog'liq holda biror zichlig bilan taqsimlangan bo'ladi.

Agar (1.125) ga yassi kondensator elektr sig'imi ifodani qo'ysak,

$$W = \frac{CU^2}{2} = \frac{\varepsilon_0 S U^2}{2d} \cdot \frac{d}{d} = \frac{\varepsilon_0}{2} \left(\frac{U}{d}\right)^2 S d$$

$$\frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d} = \frac{U}{d} = E;$$

$S \cdot d = V$ eksnligini hisobga olib:

$$W = \frac{\varepsilon_0}{2} E^2 V \quad (1.126)$$

Maydon bir jinsli bo'lsa, energiya o'zgarmas zichlik bilan taqsimlanadi. Hajm birligidagi energiya miqdoriga son jihatidan teng kattalik energiya hajmiy zichligi deb yuritiladi va quyidagicha ifodalanadi:

$$\varpi = \frac{W}{V} = \frac{\varepsilon_0}{2} E^2 \quad \left[\frac{J}{m^3} \right] \quad (1.127)$$

Bilimning mustaqil nazorati uchun testlar to'plami

1. Elektr zaryadi deb nimaga aytiladi?

A. elektr zaryadli zarrachalarni o'zaro ta'sir etish qobiliyatidir.

B. elektronga va protonga aytiladi.

C. ion va elektronga aytiladi.

D. zarrachalarni ta'sir etish intensivligini belgilovchi kattalikdir.

E. musbat va manfiy zaryadlarga aytiladi.

2. Kulon qonunining vektor ko'rinishdagi ifodasini ko'rsating.

A. $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$ B. $\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2}$ C. $F = k \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2}$

D. $F = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^3} \vec{r}$ E. $F = \frac{q_1 q_2}{r^2}$

3. Elektronning zaryad miqdori nimaga teng?

A. $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Kl}$ B. 81 Kl C. $8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Kl}$

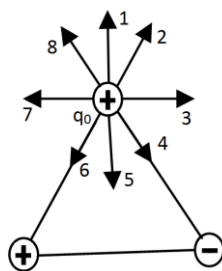
D. $3 \cdot 10^8 \text{ Kl}$ E. 1 Kl

4. Zaryad miqdorining saqlanish qonuni ifodasini ko'rsating.

A. $q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n = 0$ B. $\sum_{i=1}^n q_i = \text{const}$ C. $q = \pm Ne$

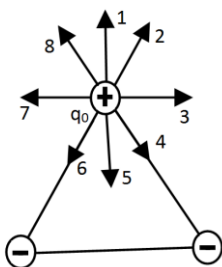
D. $q_1 - q_2 - q_3 = 0$ E. $q_1 + q_2 - q_3 = 0$

5. $q_0 > 0$ zaryadga ta'sir etuvchi kuch qaysi holda to'g'ri ko'rsatilgan?



- A. 1, 3 B. 2, 5 C. 3, 4 D. 3 E. 8

6. $q_0 > 0$ zaryadga ta'sir etuvchi kuch qaysi holda ko'rsatilgan?



- A. 1, 3 B. 3, 7 C. 7 D. 6 E. 1, 5

7. Moddalar elektr xususiyatiga ko'ra qanday turlarga bo'linadi?

- A. O'tkazgichlar, dielektriklar, elektrolitlarga
- B. O'tkazgichlar, izolyatorlar, dielektriklarga
- C. Ddielektriklar, yarim o'tkazgichlar va elektrolitlarga
- D. Yyarim o'tkazigichlar, dielektriklar, o'tkazgichlarga
- E. Metallar va yarim o'tkazgichlarga

8. Elektr maydoni nima?

- A. Elektr maydoni moddiy materiyaning yashash formasidir.
- B. Elektr maydoni maydonning kuch xarakteristikasidir.
- C. Elektr maydoni maydonning energetik xarakteristikasidir.

D. Elektr maydoni elektrlangan jism atrofida vujudga kelgan hossalari o'zgargan fazodir.

E. To'g'ri javob yo'q.

9. Nuqtaviy zaryad maydonining kuchlanganligi ifodasini ko'rsating.

A. $E = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0 r}$ B. $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$ C. $E = \frac{q}{\epsilon_0}$

D. $E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$ E. $E = \frac{U}{q}$

10. Elektr maydon kuchlanganligi vektori uchun Gauss teoremasining to'g'ri ifodasini ko'rsating.

A. $\Phi = \oint E_n ds$ B. $\Phi = \frac{q}{\epsilon_0}$ C. $\Phi = \frac{q}{4\pi E}$

D. $\Phi = \frac{1}{\epsilon_0} \sum q_1$ E. $\Phi = \frac{q_1 + q_2}{\epsilon_0}$

11. Tekislik maydonining kuchlanganlik ifodasini ko'rsating.

A. $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$ B. $E = \frac{\tau}{2\epsilon_0}$ C. $E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}$

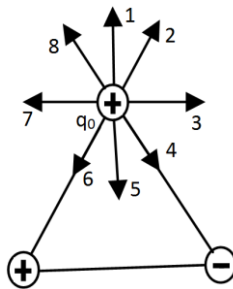
D. $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$ E. $E = \frac{1}{\epsilon_0} \sum q_1$

12. Elektr maydonining asosiy hossalardan birini ifodalovchi formulani ko'rsating.

A. $\oint E_n ds = \frac{1}{\epsilon_0} \sum q_1$ B. $\oint D_n ds = \sum q_1$ C. $\oint E_n dl = 0$

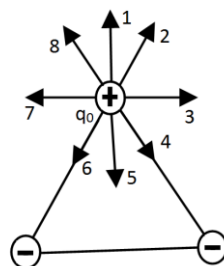
D. $\int_1^2 qEdl = 0$ E. $E = \frac{2}{\epsilon_0} \int \rho dV$

13. $q_0 > 0$ zaryad joylashgan nuqtadagi maydon kuchlanganligi vektori qaysi holatda to'g'ri ko'rsatilgan?



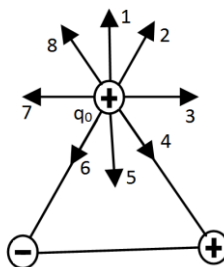
- A. 1 B. 2 C. 3 D. 4 E. 5

14. $q_0 > 0$ zaryad joylashgan nuqtadagi maydon kuchlanganligi vektori qaysi holatda to'g'ri ko'rsatilgan?



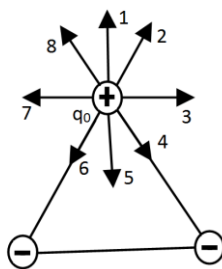
- A. 1 B. 3 C. 5 D. 7 E. 2, 8

15. $q_0 > 0$ zaryad joylashgan nuqtadagi maydon kuchlanganligi vektori qaysi holatda to'g'ri ko'rsatilgan?



- A. 1 B. 3 C. 4, 6 D. 5 E. 8, 2

16. $q_0 > 0$ zaryad joylashgan nuqtadagi maydon kuchlanganligi vektori qaysi holatda to'g'ri ko'rsatilgan?



- A. 6 B. 1, 5 C. 2, 3 D. 5 E. 4

17. Elektr maydonida zaryadni ko'chirishda bajarilgan ish formulasini ko'rsating.

A. $A = FDq$ B. $A = Pt \frac{qq_0}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r}$ C. $A = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r}$

D. $A = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \left[\frac{qq_0}{r_1} - \frac{qq_0}{r_2} \right]$ E. $A = qES \cos \alpha$

18. Yopiq konturda zaryadni ko'chirishda bajarilgan ish formulasini ko'rsating.

A. $q \oint E_n dl = 0$ B. $A = Pt$ C. $A = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2}$

D. $A = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \left[\frac{qq_0}{r_1} - \frac{qq_0}{r_2} \right]$ E. $A = FS \cos \alpha$

19. Nuqtaviy zaryad maydonining potentsiali formulasini ko'rsating.

A. $\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r}$ B. $\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} - \frac{q}{r^2}$ C. $\varphi = \frac{E}{r}$

D. $\varphi = \frac{qq_0}{r^2}$ E. $\varphi = \frac{q_1 q_2}{4\epsilon_0 r^2}$

20. Elektr maydonining potentsiallik shartlarini ko'rsating.

A. $\oint E_c dl = \sum q_1$ B. $\oint E_c dl = \frac{1}{qq_0} \sum q_1$ C. $\oint E_c dl = 0$

D. $\oint E_c dl = \varepsilon_0 E$ E. $\oint E_1 dl = 4\pi \sum q_1$

21. Elektr maydon kuchlanganlik vektorining sirkulyatsiyasi ifodasini ko'rsating.

A. $\oint E_1 dl = \sum q_1$ B. $\oint E_1 dl = \frac{1}{\varepsilon_0} \sum q_1$ C. $\oint E_1 dl = 0$

D. $\oint E_1 dl = \varepsilon_0 E$ E. $\oint E_1 dl = 4\pi \sum q_1$

22. Ekvopotensial sirtlar deb nimaga aytiladi?

A. Qutblangan dielektriklarning sirtiga.

B. Zaryadlangan o'tkazgich sirtiga.

C. Zaryadlangan yarim o'tkazgich sirtiga.

D. $\oint E_n ds = 0$ bo'lgan sirtlarga.

E. $\oint D_n ds = 0$ bo'lgan sirtlarga.

23. Elektr maydon kuchlanganligining potensial gradiyenti orqali ifodasini ko'rsating.

A. $E = \text{grad} \frac{\varphi}{\Delta z}$ B. $E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{\text{grad}\varphi}{r}$ C. $E = -\text{grad} \frac{\varphi}{\Delta z}$

D. $E = -\text{grad} \frac{\varphi}{\Delta t}$ E. $E = -\text{grad}\varphi$

24. Dipol momenti ifodasini ko'rsating.

A. $P = \chi\varepsilon_0 E$ B. $P = qE$ C. $P = qEdl$

D. $P = \frac{\sum P_1}{V}$ E. $P = q \cdot l$

25. Dielektr singdiruvchanlikning to'g'ri ifodasini ko'rsating.

A. $\varepsilon = \frac{E_0}{E}$ B. $\varepsilon = \frac{E}{E_0}$ C. $\varepsilon = \frac{F}{E_0}$

D. $\varepsilon = Eq$ E. $\varepsilon = \frac{P}{Eq}$

26. Dielektrik singdiruvchanlikning fizik ma'nosi?

A. Zaryadli zarrachalarning o'zaro ta'sirini ifodalaydi.

B. Moddalarning hossalarini ifodalaydi.

C. Moddalarda zaryadlarning o'zaro ta'siri vakuumga nisbatan necha marta kamayganligini bildiradi.

D. Zaryadni ko'chirishda bajarilgan ishni ifodalaydi.

E. To'g'ri javob yo'q

27. Qutblanish vektorining ifodasini ko'rsating.

A. $P = \chi\varepsilon_0 E$ B. $P = qE$ C. $P = qEdl$

D. $P = \frac{\sum P_1}{V}$ E. $P = q \cdot l$

28. Qutblanish vektorining elektr maydon kuchlanganligi vektori orqali ifodasini ko'rsating.

A. $P = \varepsilon_0 E$ B. $P = E + \frac{D}{\varepsilon_0}$ C. $P = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} - E$

D. $P = \chi\varepsilon_0 E$ E. $P = (1 + \chi)E$

30. Nuqtaviy zaryad elektr maydon induksiyasining ifodasini ko'rsating.

$$A. D = 4\pi r^2 q \quad B. D = \frac{q}{4\pi r^2} \quad C. D = \oint \varepsilon_0 E$$

$$D. D = (\varepsilon_0 E + P) \quad E. D = \oint P_0 dl$$

31. Elektr induksiya vektori uchun Gauss teoremasining to'g'ri ifodasini ko'rsating.

$$A. \oint D_n ds = \sum q_1 \quad B. \oint D_n ds = \frac{1}{qq_0} E \quad C. \oint D_n ds = \frac{1}{qq_0} F$$

$$D. \oint D_n ds = 0 \quad E. \oint D_n ds = \frac{q}{4\pi r}$$

32. Elektr induksiya vektorining maydon kuchlanganligi orqali ifodasini ko'rsating.

$$A. P = \chi \varepsilon_0 E \quad B. P = qE \quad C. P = qEdl$$

$$D. P = \frac{\sum P_1}{V} \quad E. D = \varepsilon_0 E$$

33. Signetoelektriklar dielektriklardan asosan qanday hossalari bilan farq qiladi?

A. Qutblanishning to'yinishi va \mathcal{E} -ning temperaturaga bog'liqligi bilan

B. qoldiq qutblanishga ega bo'lishi bilan;

C. Dielektr singdiruvchanlikning murakkab funksiyasi ekanligi bilan;

D. $\varepsilon_s \gg \varepsilon_D$ elektr maydonida qutblanishga ega bo'lishi bilan;

E. $\varepsilon_s \gg \varepsilon_D$ bo'lib, qutblanishning elektr maydon kuchlanganligiga nisbatan kechikib o'zgarishi bilan.

34. $P = \chi \mathcal{E} E$ - qaysi moddalar uchun o'rinli?

- A. Signetoelektriklar uchun
- B. Metallar uchun
- C. Dielektriklar uchun
- D. Yarim o'tkazgichlar uchun
- E. Eritmalar uchun

35. Signetoelektriklar uchun Kyuri temperaturasi (T_k) qanday ahamiyatga ega?

- A. Ahamiyatga ega emas.
- B. T_k – da qutblanadi.
- C. T_k – gisterezis hosil qiladi.
- D. Dielektriklarga aylanadi.
- E. Javoblar ichida to'g'risi yo'q

36. Pezoelektrik effekt nima?

- A. Delektriklarning qutblanishi.
- B. Signetoelektriklarning gisteres hosil qilishi.
- C. Signetoelektriklarning elektr maydonida deformatsiyalanishi.
- D. Segnotoelektriklarning mexanik deformatsiyalanishi tufayli qutblanishi.
- E. To'g'ri javob yo'q.

37. Elektr maydonida o'tkazgichlar qanday hossalarga ega bo'ladi?

- A. O'tkazgich maydoni va sirtidagi har bir nuqtada potensial birday bo'ladi;
- B. Induksiyalangan zaryadlar o'tkazgich sirti bo'ylab tekis taqsimlanadi;
- C. Zaryad o'tkazgich sirtida taqsimlanadi, o'tkazgich ichida maydon kuchlanganligi nolga teng bo'ladi.
- D. Elektr maydonida o'tkazgichlar induksiyalangan zaryadlarni vujudga keltiradi
- E. Tashqi maydon kuchlanganlik chiziqlarini uzadi va deformatsiyalaydi.

38. O'tkazgichlarda zaryadning muvozanatli taqsimlanish sharti ifodasini ko'rsating.

A. $E = F/q, \varphi \neq const$ B. $E = const, d\varphi = Bdr$ C. $E = 0, d\varphi \neq const$

D. $E \neq const, d\varphi = 0$ E. $E = \varphi = const$

39. O'tkazgichning sig'imi ifodasini ko'rsating.

A. $C = \frac{q}{\varphi}$ B. $C = \frac{\varphi}{q}$ C. $C = \frac{\varepsilon_0 S}{d}$

D. $C = 4\pi\varepsilon_0 r$ E. $C = \frac{\Delta}{Fq\varepsilon_0}$

40. Kondensator elektr sig'imi formulasini ko'rsating.

A. $C = \frac{\varepsilon_0}{d}$ B. $C = \frac{q}{U}$ C. $C = \frac{\varepsilon_0}{4\pi r}$

D. $D = \frac{q}{\varphi}$ E. $C = 4\pi\varepsilon_0 r$

41. Yassi kondensator sig'imi ifodasini ko'rsating.

A. $C = \frac{q}{\varphi}$ B. $C = \frac{\varphi}{q}$ C. $C = \frac{\varepsilon_0 S}{d}$

D. $C = 4\pi\varepsilon_0 R$ E. $C = \frac{\Delta}{Fq\varepsilon_0}$

42. Sig'imi 700 mkF bo'lgan shar radiusini hisoblang.

A. 6400 mm B. 6400 sm C. 6400 dm D. 6400 m E. 6400 km

43. Parallel ulangan kondensatorlarning umumiy sig'imini hisoblang.

A. $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots$ B. $\frac{1}{C} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} + \dots$ C. $C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} + \dots$

D. $C = C_1 + C_2 + \dots$ E. $\frac{1}{C} = \frac{q_1}{C_1} + \frac{q_2}{C_2} + \dots$

44. Ketma – ket ulangan kondensatorlarning umumiy sig'imini hisoblash to'g'ri ifodasini ko'rsating.

A. $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots$ B. $\frac{1}{C} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} + \dots$ C. $C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} + \dots$

D. $C = C_1 + C_2 + \dots$ E. $\frac{1}{C} = \frac{q_1}{C_1} + \frac{q_2}{C_2} + \dots$

45. Zaryadlangan o'tkazgich energiyasining to'g'ri ifodasini ko'rsating.

A. $W = \frac{mq^2}{2}$ B. $W = q\varphi$ C. $W = \varepsilon_0 s E$

D. $W = \frac{\varepsilon_0 E}{d}$ E. $W = \frac{C\varphi^2}{2}$

46. Kondensator energiyasining to'g'ri ifodasini ko'rsating.

A. $W = \frac{mq^2}{2}$ B. $W = q\varphi$ C. $W = \varepsilon_0 s E$

D. $W = \frac{\varepsilon_0 E}{d}$ E. $W = \frac{CU^2}{2}$

47. Yassi kondensator qoplamasining yuzi 2 marta oshganda, uning sig'imi qanday o'zgaradi?

A. 2 marta oshadi B. 2 marta kamayadi C. o'zgarmaydi

D. 4 marta ortadi E. 4 marta kamayadi

48. 10^{12} Kl zaryadga ega bo'lgan va radiuslari 1 mm dan 8 ta simob tomchilari qo'shilib, bitta tomchi hosil bo'ldi. Katta tomchi potentsiali aniqlansin.

A. 36 V B. 38V C. 45 V D. 28V E. 42 V

49. Elektr sig'imi 2 mkF bo'lgan kondensator 110 V gacha zaryadlangan. Kondensatorni tok manбайдan uzib, zaryadsiz sig'imi noma'lum kondensatorga ulaganda, qoplamalar orasidagi kuchlanish 44 V teng bo'lib qoldi. Ikkinchi kondensatorning sig'imi (mkF) aniqlansin.

A. 7 B. 11 C. 5 D. 5 E. 3

50. Vodorod atomida elektron orbitasining radiusi $2 \cdot 10^{-8}$ sm. Vodorod atomi yadrosi elektronni qanday kuch bilan tortadi?

A. 1 B. 1,14 C. 8 D. 92,16 E. 5,76

Masalalar yechish namunalari

1. Massalari 0,01 g dan bo'lgan ikkita bir xil sharcha bir – biriga tegib turadigan qilib 1 metrli ipga osib qo'yilgan. Sharchalardan biriga qanday zaryad miqdori berilganda ular bir – biridan 14 smga uzoqlashadi?

Berilgan:

Yechish:

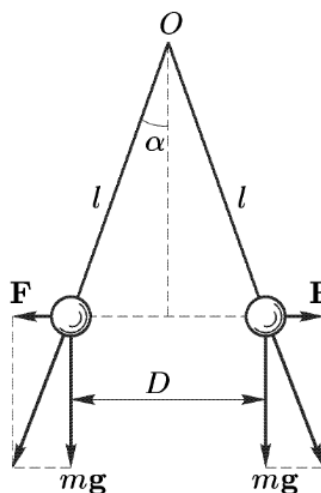
$$l=1\text{m}$$

$$m=0,01\text{ g} = 1 \cdot 10^{-5}\text{ kg}$$

$$r = 14\text{ sm} = 0,14\text{ m}$$

$$\varepsilon = 1$$

$$q=?$$



Agar sharchalardan biriga q-zaryad berilsa, o'tkazgichlarda zaryadning tekis taqsimlanishiga muvofiq, har bir shar $\frac{q}{2}$ miqdorda zaryadlanadi. Har bir sharchaga Kulon itarish kuch - F, og'irlik kuchi - P va ipning taranglik kuchi F_T ta'sir qiladi.

Sistema muvozanatda bo'lishi uchun bu kuchlarning algebraik yig'indisi nolga teng bo'lishi lozim (1.36-rasm).

$$\vec{F} + P + F_T = 0 \tag{1}$$

Kulon qonuniga muvofiq

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{0,5q_1 \cdot 0,5q_2}{r^2} = \frac{q^2}{16\pi\varepsilon_0 r^2} \tag{2}$$

(2) ifodadan

$$q = \pm 4r \sqrt{\pi \varepsilon_0 \varepsilon F} \quad (3)$$

Kvadrat ildiz oldidagi “+”, “-” belgi sharchaga berilgan zaryadning ishorasini bildiradi.

rasmdan, $\frac{F}{P} = \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$; $\frac{r}{2l} = \sin \frac{\alpha}{2}$ buni e'tiborga olib,

Kulon qonuni uchun:

$$F = P \operatorname{tg} \left(\arcsin \left(\frac{r}{2l} \right) \right)$$

α -ning kichik qiymatlari uchun $\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \approx \sin \frac{\alpha}{2}$ u holda

$$F = P \frac{r}{2l} \quad (5)$$

(3) va (5) dan:

$$q = \pm 4r \sqrt{\pi \varepsilon_0 \varepsilon' P \operatorname{tg} \arcsin \left(\frac{r}{2l} \right)} = \pm 4r \sqrt{\frac{\pi \varepsilon_0 r m g}{2l}} \quad (6)$$

(6) ga berilgan qiymatlarni qo'yib:

$$q = \pm 4 \cdot 0,14m \sqrt{\frac{3,14F \cdot 0,14m \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot 9,8m}{4 \cdot 3,14 \cdot 9 \cdot 10^9 \text{ m} \cdot 2m}} = 7,7 \cdot 10^{-9} \text{ Kl}$$

2. Radiusi $R=0.1$ m bo'lgan zaryadlangan sferani sirtidan $l_1=0.5$ m masofada zaryad miqdori $Q=10^{-8}$ Kl bo'lgan nuqtaviy zaryad joylashtirilgan (3-rasm). Nuqtaviy zaryadni zaryadlangan sfera tomon $l_2=0.2$ m masofagacha yaqinlashtirish uchun qanday ish bajarish kerak? Sfera $\varphi=25$ kV gacha zaryadlangan.

Berilgan:

Yechish:

$$R=0.1 \text{ m}$$

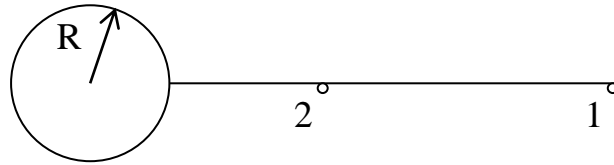
$$l_1=0.5 \text{ m}$$

$$Q=10^{-8} \text{ Kl}$$

$$l_2=0.2 \text{ m}$$

$$\varphi=25 \text{ kB}$$

$$A=?$$



Elektr maydonida zaryadni siljitish uchun bajarilgan ish:

$$A = Q(\varphi_1 - \varphi_2) . \quad (1)$$

Sferaning hosil qilgan maydoni $r \gg R$ bo'lganda ham zaryadni markazga joylashtirgandagi kabi bo'ladi. 1 va 2 nuqtalarning potentsiallari

$$\varphi_1 = \frac{Q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r_1} \quad (2)$$

$$\varphi_2 = \frac{Q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r_2} \quad (3)$$

$r_1 = R + l_1$ va $r_2 = R + l_2$ lar mos ravishda 1 va 2 nuqtalardan sferaning

markazigacha bo'lgan masofalar. Sferaning zaryadi (Q) ni $\varphi = \frac{Q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r}$ dan topamiz:

$$Q = 4\pi\epsilon\epsilon_0 R\varphi . \quad (4)$$

$\epsilon=1$ deb olib , (4) ni (2) va (3) ga qo'yamiz

$$\varphi_1 = \frac{4\pi\epsilon_0\varphi R}{4\pi\epsilon_0(R+l_1)} = \frac{R\varphi}{R+l_1} \quad \varphi_2 = \frac{R\varphi}{R+l_2} .$$

φ_1, φ_2 ning qiymatlarini (1) ga qo'yamiz

$$A_{1,2} = Q_0 \left(\frac{R\varphi}{R+l_1} - \frac{R\varphi}{R+l_2} \right) = Q_0 R \varphi \frac{l_2 - l_1}{(R+l_1)(R+l_2)},$$

$$A_{1,2} = 10^{-8} \cdot 0.1 \cdot 25 \cdot 10^3 \frac{0.3}{0.6 \cdot 0.9} = 8.2 \cdot 10^{-5} J.$$

3. Ikkita teng tomonli (tomonlari $l=0,25$ m) uchburchaklardan tashkil topgan rombning o'tkir burchaklari uchiga $q_1=q_2=2,5 \cdot 10^{-9}$ Kl, o'tmas burchaklaridan biriga esa, $q_3=-5 \cdot 10^{-9}$ Kl zaryad o'rnatilgan bo'lsa, to'rtinchi burchagi uchidagi maydon kuchlanganligini toping. Agar $q_4=-2 \cdot 10^{-9}$ bo'lsa, zaryadga ta'sir etuvchi kuchni ham hisoblang.

Berilgan:

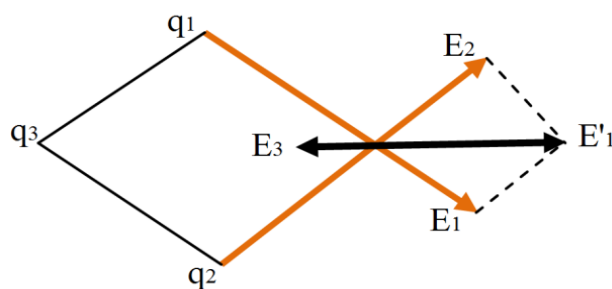
Yechish:

$$l=0,25 \text{ m}$$

$$q_1=q_2=2,5 \cdot 10^{-9} \text{ Kl}$$

$$q_3=5 \cdot 10^{-9} \text{ Kl}$$

$$q_4=-2 \cdot 10^{-9} \text{ Kl}$$



1.37-rasm

$$E=? \quad F=?$$

q_1, q_2, q_3 nuqtaviy zaryadlar vujudga keltirgan maydon kuchlanganligi rasmda ko'rsatilgan.

Superpozitsiya prinsipiga ko'ra to'la maydon kuchlanganligi

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3.$$

E_1, E_2 va E_3 maydon kuchlanganliklarining moduli

$$E_1 = E_2 = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 l^2}$$

$$E_3 = \frac{q_3}{4\pi\epsilon\epsilon_0 l^2}$$

1.37-rasmdan, $\alpha = 60^\circ$

$$\bar{E} = \bar{E}^1 + \bar{E}_3$$

\bar{E}_3 - ning ishorasini hisobga olib,

$$E = E^1 - E_3 = 2E_1 \cos \alpha - E = \frac{2q_1 \cos \alpha}{4\pi\epsilon_0 l^2} - \frac{q_3}{4\pi\epsilon_0 l^2} = \frac{2q_1 \cos \alpha}{4\pi\epsilon_0 l^2} = 360V/m$$

Minus ishora \bar{E} ning q_3 -zaryadga tomon yo'nalganligini bildiradi. Q_4 -zaryadga ta'sir etuvchi kuch esa:

$$F = q_4 E = \frac{(2q_1 \cos \alpha - q_3) \cdot q_4}{4\pi\epsilon_0 l^2} = 7,2 \cdot 10^{-7} N$$

4. Tomonlarining uzunligi 1,5 m bo'lgan teng tomonli uchburchakning ikkita uchiga 1 mkKl bo'lgan musbat zaryadlar o'rnatilgan. Uchinchi uchidagi maydon kuchlanganligi va potensialini hisoblang.

Berilgan:

Yechish:

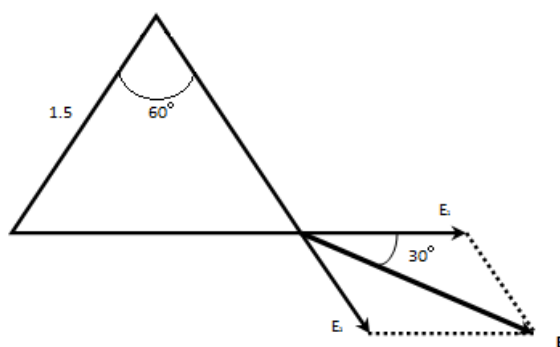
$$a=1,5 \text{ m}$$

$$q_1=q_2=q=1$$

$$\text{mkKl}=1 \cdot 10^{-6} \text{ kl}$$

$$E=?$$

$$\varphi=?$$



1.38-rasm

Superpozitsiya prinsipiga ko'ra: $\bar{E} = \bar{E}_1 + \bar{E}_2$

Nuqtaviy zaryad maydonining kuchlanganligi

$$E_1 = E_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2} = 36kV/m$$

parallelogramm qoidasiga muvofiq,

$$E = 2E \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) = 36 \cdot \sqrt{3} \text{ kv/m}$$

Nuqtaviy zaryad potentsiali ifodasiga ko'ra:

$$\varphi_{A1} = \varphi_{F2} = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r} = 18 \text{ kV}$$

Fikrlash qobiliyatini o'stirish uchun tavsiya qilinayotgan amaliy masalalar

1. Massalari $m_1=m_2=1\text{g}$ bo'lgan sharlarning o'zaro bir-birini itarish kuchi bilan gravitatsion tortishuv kuchi bir-biriga teng bo'lishi uchun sharlarga qanday zaryad berish kerak?
2. Ikkita bir xil kattalikdagi suv tomchilarining har biriga bittadan ortiqcha elektron joylashgan. Elektrostatik itarish kuchi gravitatsion kuchga teng bo'lishi uchun tomchilarning radiusi r qanday bo'lishi kerak?
3. Suv ichidagi ikkita nuqtaviy musbat zaryad 3 sm masofada 16 dina kuch bilan itarishsa, ularning har birining zaryad miqdorini aniqlang.
4. Elektrosenotor yassi elektrodlarning uzunligi 2 m bo'lib, ular bir – biridan 10 sm masofada o'rnatilgan. Zaryadi $0,8 \cdot 10^{-9}$ Kl, massasi 10^{-3} gr bo'lgan donalarni saralab olish uchun elektr maydon kuchlaniganligi qanday bo'lishi lozim.
5. Kerosin ichiga joylashtirilgan ($q=2,6$ SGSE). nuqtaviy zaryaddan qanday uzoqlikdagi nuqtaning maydon kuchlaniganligi 9 v/m ga teng bo'ladi?
- 6 10^{-8} Kl zaryadga ega kerosin ichiga joylashtirilgan 20 sm radiusli shar potentsialini toping.
7. Bir – biridan 7 mm oraliqda joylashtirilgan, har birining zaryadi 10 va 16 HKl bo'lgan zaryadlarning kichik zaryaddan 3 mm, kattasidan 4 mm uzoqlikda joylashtirilgan 2 HKl zaryadga qanday kuch bilan ta'sir etadi?
8. Massalari 0,3 kg bo'lgan birday radiusli sharchalar shunday o'rnatilganki, zaryadlarning o'zaro ta'sir kuchi gravitatsion tortishish kuchi bilan muvozanatlashgan. Agar zaryadning sirt zichligi $1,25 \cdot \text{nKl/m}^2$ bo'lsa, radiusni hisoblang.
9. Tomoni 1 m bo'lgan, teng tomonli uchburchak uchlariga 3,3 mkKl bo'lgan zaryadlar o'rnatilgan bo'lsa, zaryadlar sistemasining energiyasini hisoblang.
10. Elektron potentsiali 100 V va 300 V bo'lgan uqtalar oralig'ida tezlatilsa, uning tezligi qanday bo'ladi?
11. Ikkita vertikal plastinkalar orasida ulardan bir xil uzoqlikda tushayotgan ma'dan (ruda) zarralari tezligi 9-2sm/sekga teng vertikal bo'ylab $l=20$ sm

o'tganda ularning saralanishi uchun plastinkalarga qanday kuchlanish berish lozim? Plastinkalar oralig'i $d=4\text{ sm}$, ma'dan zarralarining massasi $m=2\cdot 10^{-9}\text{g}$, zaryadi $q=6,5\cdot 10^{-17}\text{kl}$.

12. 200 pF sig'imli kondensator yasashda qalinligi 0,2 mm bo'lgan parafinlangan qog'ozning ikki tomoniga doira shaklidagi yupqa lyuminiy qog'oz (folga) yopishtiriladi. Doirachaning diametri qanday bo'lishi kerak?

“Elektrostatika” bobiga doir yakuniy nazorat uchun namunaviy savollar va tayanch iboralar

1. Jismlarning elektrlanishi.

Elektr zaryadi, zaryad miqdori, zaryad miqdori birligi, elementar zaryad, elektron, zaryad miqdorining diskretligi, zaryadlarning saqlanish qonuni.

2. Elektr maydoni va uni xarakterlovchi kattaliklar.

Elektr maydoni, elektr maydon kuchlanganligining birligi, nuqtaviy zaryad maydon kuchlanganligi, kuchlanganlik chiziqlari.

3. Elektr maydon va uni xarakterlovchi kattaliklar. Elektr maydon potentsiali, kuchlanish.

Elektr maydon potentsiali, nuqtaviy zaryad maydonining potentsiali, potentsialning birligi, kuchlanish, ekvopotensial sirtlar, ekvopotensial sirt manzarasi, potentsial gradiyenti.

4. Ostrogradskiy-Gauss teoremasi va uni tadbirlari.

Gauss teoremasi, Gauss teoremasining tadbirlari, (tekislik, qo'sh tekislik va shar maydonining kuchlanganligi ifodasi bilan).

5. Elektr maydonida zaryadli zarrachalarni ko'chirishda bajarilgan ish.

Elektr kuchlarining ishi. E – vektorining sirkulyatsiyasi, elektr maydonining potentsiallik shartlari, elektr maydon haqidagi xulosalar.

6. Elektr maydonida dielektriklar. Qutblanish vektori.

Dielektriklar, qutbli dielektrik, qutbsiz dielektriklar, qutblanish vektori, qutblanish vektori va uni E vektori orqali ifodalanishi, dielektrik doimiylik, dielektrik doimiylikning temperaturaga bog'liqligi.

7. Elektr maydonda signetoelektriklar.

Signetoelektriklar, signetoelektriklarning hossalari, gisterezis, pyezoelektrik effekt, qoldiq qutblanish, konservativ kuch, Kyuri nuqtasi.

8. Elektr maydonida o'tkazgichlar.

O'tkazgichlar, zaryadlarning tekis taqsimlanishi, bog'langan sirt zaryadlar, elektrostatik himoya, Van-de-Graf generatori.

9. Elektr maydonida o'tkazgichlar. Yakkalangan o'tkazgichning elektr sig'imi.

Yakkalangan o'tkazgich, elektr sig'im, nuqtaviy zaryad potentsiali, kondensator turlari, yassi kondensatorning elektr sig'imi, shar sig'imi, kondensatorlarni parallel, ketma – ket ulash, zaryadlangan kondensator energiyasi.

10. Elektr siljish vektori uchun Gauss teoremasi va uning tadbiqlari.

Elektr siljish vektori, elektr siljish vektori uchun Gauss teoremasi va uning tadbiqlari, elektr siljish vektori D va E – vektor orqali ifodalash.

11. Elektr maydon energiyasi.

Elektr maydoni, elektr maydon energiyasining turli ko'rinishdagi ifodalari. Energiya zichligi va uning birligi.

II-bob

O'ZGARMAS ELEKTR TOKI

2.1. Elektr toki. Tok kuchi. Tok zichligi

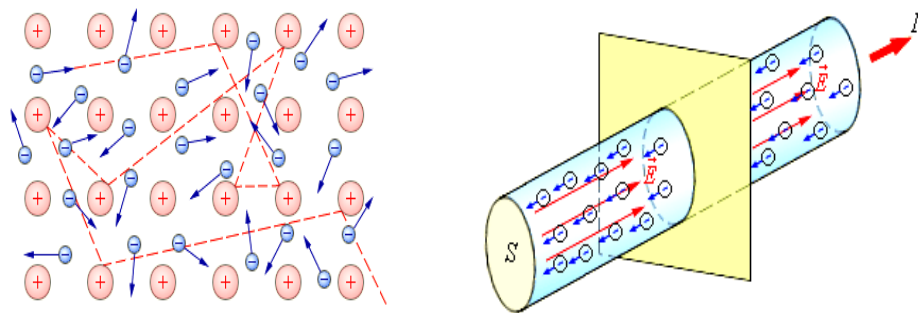
Zaryadlangan zarrachalarning har qanday tartibli yo'naltirilgan harakati elektr toki deb yuritiladi. Zaryadlangan zarrachalarning tartibli harakatini turli yo'llar bilan hosil qilish mumkin:

1. Zaryadlangan zarrachalarning fazoda jism bilan birgalikda ko'chishi konveksion tok deyiladi. Masalan: zaryadlangan bulutning yerga nisbatan ko'chishi, ortiqcha zaryad manbayiga ega yerning orbitadagi harakati;

2. Elektr kuchlari ta'siri ostida zaryadli zarrachalar (erkin elektronlar) ning o'tkazgichka nisbatan ko'chishi o'tkazgichka nisbatan ko'chishi o'tkazuvchanlik toki deyiladi;

3. O'tkazuvchan berk kontur orqali magnit oqimining o'zgarishi induksion tok hosil qiladi;

4. Dielektrlarda o'zgaruvchan elektr maydoni toklarga magnit maydonini vujudga keltirishi siljish toki deb yuritiladi.



2.1-rasm

Elektr tokini miqdor jihatdan xarakterlash uchun tok kuchi deb ataluvchi fizik katalik kiritiladi.

Vaqt birligi ichida o'tkazgichning ko'ndalang kesimi yuzidan o'tayotgan zaryad miqdoriga son jihatdan teng kattalik tok kuchi deyiladi.

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

Elektr maydoniga joylashtirilgan o'tkazgich tarkibidagi zaryadli zarrachalar , ikki xil : ham tartibsiz issiqlik harakatida va maydon kuchlarining tartibli harakatida qatnashadi (2.1-rasm).

Tartibsiz harakat tezligini – v , tartibli harakat tezligini u - deb belgilasak , zaryadli zarrachalar umumiy tezligining o'rtacha qiymati uchun quyidagini yoza olamiz:

$$\langle\langle v+u \rangle\rangle = \langle\langle v \rangle\rangle + \langle\langle u \rangle\rangle = \langle\langle u \rangle\rangle$$

Agar 1 sm^3 –da n -ta zaryad tashuvchi bo'lsa , dS -yuza orqali dt - vaqt oralig'ida ko'chirilgan zaryad miqdori quyidagicha aniqlanadi :

$$dq = e n \langle\langle u \rangle\rangle dS \cdot dt \quad (2.2)$$

tok kuchining ta'rifiga ko'ra

$$i = e n \langle\langle u \rangle\rangle dS \quad (2.3)$$

Tokli o'tkazgichlarda taqsimlanishni to'laroq xarakterlash uchun tok zichligi tushunchasidan foydalaniladi.

O'tkazgichning perpendikulyar kesimi yuzasi birligiga to'g'ri kelayotgan , tok kuchiga son jihatdan teng bo'lgan kattalikga tok zichligi deb ataladi.

$$j = \frac{di}{dS} \quad (2.4)$$

(2.3) va (2.4) lardan

$$j = e n u \quad (2.5)$$

Tok kuchi esa :

$$i = \oint_S j dS \quad (2.6)$$

Shunday qilib , tok kuchi – tok zichligi vektorining biror sirt orqali oqimini ifodalaydi.

Vaqt o'tishi bilan zichligi, kuchi va yo'nalishi o'zgarmaydigan tok , o'zgarmas tok deb ataladi.

$$I = \frac{q}{t} \quad (2.7)$$

O'zgarmas tokning yo'nalishi sifatida musbat zaryadli zarrachalarning harakat yo'nalishi qabul qilingan. Halqaro birliklar sistemasida tok kuchining birligi qilib, 1A qabul qilingan. 1 A shunday tok kuchidirki u vakuumda joylashgan ikki parallel tokli o'tkazgichli 1 m oraliqdan uzunligi 1 m bo'lgan o'tkazgichga $2 \cdot 10^{-7}$ N kuch bilan ta'sir etadi.

2.2. Elektr yurituvchi kuch

O'tkazgichlar ichida potentsiallar farqi hosil qilinib, uni saqlab turish choralari ko'rilmasa tok tezda yo'qoladi, chunki zaryadlar o'tkazgich sirtida tekis taqsimlanib , ekvipotensial sirt hosil qiladi. Tok davomli o'tib turishi uchun :

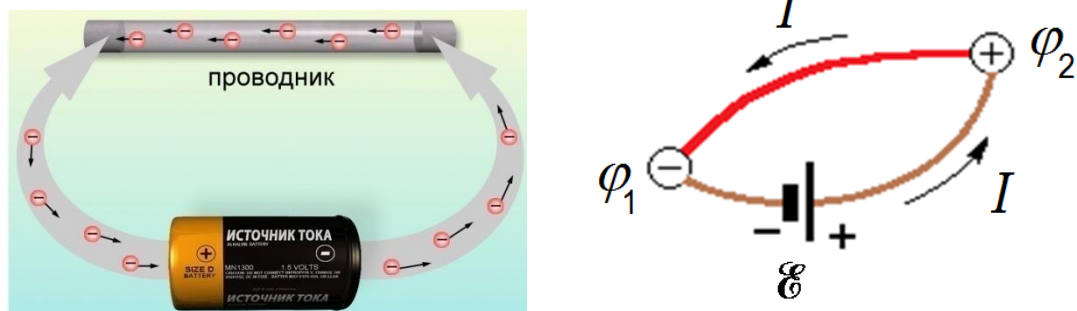
a) Zanjirning barcha qismlarida erkin elektr zaryad tashuvchilar bo'lishi ;

b) Erkin elektr zaryadini berk kontur bo'ylab, doimiy tartibli harakatga keltiruvchi tashqi kuch bo'lishi lozim.

Tashqi kuchlar zaryadni berk kontur bo'ylab ko'chirishda ish bajarib, o'tgazgich uchlarida potentsiallar farqini hosil qiladi. Ya'ni noelektrostatik kuchlar energiyasini elektr energiyasiga aylantiradi. Bunday tashqi kuchlar manbai deb yuritiladi.

Tok mabaalari

Kimyoviy reaksiya energiyasi hisobiga zaryadni ajratadigan galvaniy elementi, akkumilyator batareyasi turli jinsli metallardan tuzilgan termobatareya, tok generatori, quyosh batareyalari misol bo'la oladi.



2.2-rasm

Tok manbaalarini xarakterlashda elektr yurituvchi tushunchasidan foydalanadi. *Birlik musbat zaryadni elektr maydonida ko'chirishda tashqi kuchlarning bajargan ishiga son jihatidan teng katalik elektr yurituvchi kuch deb ataladi.*

$$\mathcal{E} = \frac{A_{\text{TK}}}{q} \quad (2.8)$$

Halqaro birliklar sistemasida EYuK (elektr yurituvchi kuch) ning birligi qilib 1 Volt qabul qilingan.

$$1V = \frac{1J}{1C}$$

Tashqi kuchlar manbaaini kuchlanganligining vektori E^* deb belgilasak :

$$F_{\text{tashqi}} = E^* q \quad (2.9)$$

Zaryadni ko'chirishda bajarilgan ish :

$$A = \oint_L F^* dl = q \oint_L E^* dl \quad (2.10)$$

Tarifga ko'ra :

$$\varepsilon = \frac{A}{q} = \oint_L E^* dl \quad (2.11)$$

Shunday qilib EYuK – tashqi kuchlar maydoni kuchlanganligi vektorining kontur bo'yicha sirkulyatsiyasini ifodalaydi.

Agar zaryadga tashqi kuchlar bilan birga elektrostatik kuchlar ham ta'sir etsa, zaryadni ko'chirishda bajarilgan ish :

$$A = q \oint_L E dl + q \oint_L E_l dl = q[\varepsilon + (\varphi_1 - \varphi_2)] \quad (2.12)$$

Bu yerdagi.

$$U = \varepsilon + (\varphi_1 - \varphi_2) \quad (2.13)$$

(2.13) dan iborat kattalik kuchlanish deb yuritiladi. *Kuchlanish birlik musbat zaryadmi zanjir bo'ylab ko'chirishda tashqi va elektr kuchlari bajargan ishni bildiradi.*

2.3. Zanjirning bir jinsli qismi uchun Om qonuni O'tkazgichlarning qarshiligi

Ma'lumki , o'tkazgichlardan tok o'tib turishi uchun uning uchlaridagi potentsiallar farqi $U = (\varphi_1 - \varphi_2)$ saqlanib turishi lozim.

Tajribalar ko'rsatishicha, bir jinsli o'tkazgich uchlaridagi kuchlanish ortishi bilan, undagi tok kuchi ham kuchlanishga tog'ri proporsional ravishda ortadi.

$$I \sim U \quad (2.14)$$

Tok kuchi bilan kuchlanish orasidagi bunday bog'lanish 1897-yil nemis olimi G. S.Om tomonidan tajribada aniqlangan.

Kuchlanishning tok kuchiga nisbati har xil lo'tkazgichlar uchun o'ziga hos xarakterlovchi o'zgarmas kattalik bo'lib, **qarshilik** deb yuritiladi.

$$R = \frac{U}{I} \quad (2.15)$$

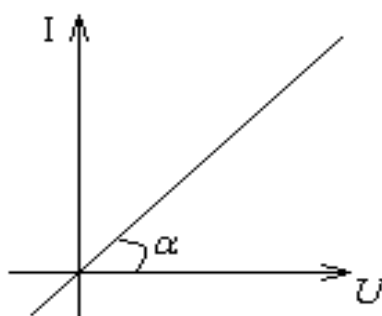
Qarshilikning halqaro birliklar sistemasidagi birligi 1 Om deb yuritiladi. U U shunday o'tgazgichning qarshiligiki, 1 A tok o'tib to'rgan o'tgazgich uchlaridagi potentsiallar farqi 1 Voltga teng bo'ladi.

(2.14) va (2.15) dan :

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

(2.16) bir jinsli zanjir uchun Om qonunini ifodalaydi.

Zanjirning bir jinsli qismidagi tok kuchi unga qo'yilgan kuchlanish-ga tog'ri proporsional. qarshiligiga esa teskari proporsionaldir. Tok kuchi bilan kuchlanish orasidagi bu bog'lanish har bir o'tkazgich uchun o'zgarmas va bir qiymatli bo'lib u o'tkazgichning volt, Amper xarakteristikasi (VAX) deb ataladi. Quyidagi qarshiligi $R_1 > R_2$ bo'lgan ikkita o'tkazgichning VAX si keltirilgan (2.3-rasm).



2.3-rasm

O'tkazgichlarning qarshiligi ularning geometrik shakli, o'lchamlari va kimyoviy tarkibiga bog'liq.

$$\text{Silindrik jism uchun: } R = \rho \frac{l}{S} \quad (2.17)$$

ρ - o'tkazgichning materialiga bog'liq bo'lgan o'zgarmas kattalik bo'lib, solishtirma qarshilik deb yuritiladi.

$$\rho = \frac{RS}{l} \quad (2.18)$$

Solishtirma qarshilik $\text{Om} \cdot \text{m}$ - da o'lchanadi va qirralari 1m bo'lgan , kub shaklidagi jismning qarshiligini bildiradi.

$$\text{Masalan : } \rho_c = 1.7 \cdot 10^{-8} \text{ om} \cdot \text{m}; \quad \rho_c = 2.9 \cdot 10^{-8} \text{ om} \cdot \text{m}$$

Tok zichligi vektori j - bilan , maydon kuchlanganligi vektori E orasidagi bog'lanishni aniqlaymiz. Ma'lumki uchlarida kuchlanish $U = I R$ bo'lgan zanjirning bir jinsli qismida zichligi j , kuchi i bo'lgan tok oqadi. Potensiallar ayirmasi bilan kuchlanish orasidagi bog'lanish orasidagi $U = (\varphi_1 - \varphi_2) = E \cdot l$ bog'lanishni hisobga olib, Om qonunini quyidagicha ifodalaymiz.

$$jS = \frac{U}{R} = \frac{E \cdot l}{\rho l S}$$

Tok zichligi uchun esa

$$j = \frac{1}{\rho} E \text{ yoki } j = \sigma E \quad (2.19)$$

Bu yerda , $\sigma = \frac{1}{\rho}$ - solishtirma elektr o'tkazgich deb ataladi.

(2.19) ifoda har qanday elektr maydoni va ixtiyoriy shakildagi o'tkazgich uchun o'rinli bo'lib Om qonunining differensial ko'rinishidir.

O'tkazgichlarning qarshiligi va nafaqat ularning geometrik shakli, balki tashqi shar-sharoitlarga temperaturalariga ham, bog'liq bo'ladi. Metall o'tkazgichlarning solishtirma qarshiligi temperaturaga chiziqli proporsional bo'lib, u quyidagicha ifodalanadi:

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha t^0) \quad (2.20)$$

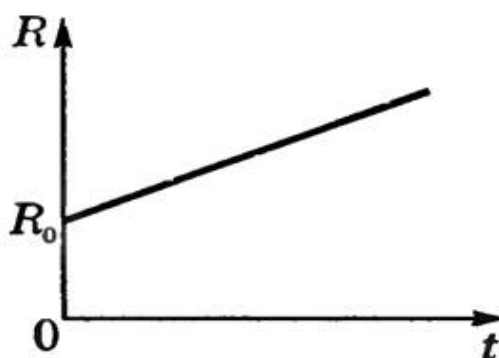
ρ_0 – o'tkazgichning 0^0 C temperaturadagi solishtirma qarshiligi α – qarshilikning termik koeffitsiyenti bo'lib temperatura bir gradusga o'zgarganda qarshilikning qanchaga o'zgarishini bildiradi.

$$\alpha = 4 \cdot 10^{-3} \text{ grad}^{-1}$$

(2.17) va (2.20) ifodalardan

$$R = \frac{\rho_0 l}{S} (1 + \alpha t^0) = R_0 \rho_0 (1 + \alpha t^0) \quad (2.21)$$

Quyida qarshilikning temperaturaga bog'liq holda o'zgarish grafigi keltirilgan (2.4-rasm).



(2.4-rasm)

Ba'zi moddalar, shuningdek qotishmalar ma'lum temperaturagacha sovutilsa absolyut nol temperatura yaqinida ularning qarshiligi keskin o'zgaradi (ya'ni nolga teng bo'ladi). Moddalar bunday temperaturada o'ta o'tkazuvchanlik holatda

bo'ladilar. O'ta o'tgazuvchan moddadan tuzilgan berk zanjirda bir marta tok hosil qilinsa tok kuchi o'zgarmay uzoq muddat saqlanib turadi. Qarshilikning temperaturaga bunday bog'liqligidan amalda elektr termometr, termorezistir, tenzometrlar yasashda foydalaniladi.

Tog' jinslari elektronli yoki ionli elektr o'tkazuvchanlikka ega bo'lishi mumkin. Tog' jinslarning uncha katta bo'lmagan qismi elektr o'tkazuvchanlikka (ba'zi rudalar, grafit, ansitrit va hokazo) qolganlari esa ionli o'tkazuvchanlikka ega. Tog' jinslarining g'ovaklari suyuqlik (suv, neft) yoki gazlar (metan, azot va hokazo) bilan to'yingandir. Jismlarning elektr xususiyatlaridan kelib chiqqan holda suv bilan to'yingan tog' jinslarini elektrolitlar deb hisoblash mumkin. Suvdagi tuzlarning miqdori va ularning tog' jinslarida taqsimlanishga qarab solishtirma qarshilik o'zgaradi. Masalan, tarkibida neft, gaz bo'lgan tog' jinslarining g'ovaklari suv bilan to'ldirilganligi uchun bunday tog' jinslarining solishtirma qarshiligi kutilganiday katta bo'lmay, balki kichikroq qiymatga ega bo'ladi.

Tog' jinslarining solishtirma qarshiligi maxsus asboblarda – zondlar yordamida o'lchanadi. Zondlar to'rtta elektrodlardan tashkil topgan. Ulardan biri yerga ulanadi, qolgan elektrodlar esa skvajina (burg'u qudug'i)ga tushiriladi. Burg'u qudug'i elektrolit bilan to'ldiriladi. Elektrodarga manbadan kabel bo'ylab elektr toki yuboriladi, natijada elektrodlar orasida kuchlanish yuzaga keladi, hosil bo'lgan kuchlanish asbobda qayd qilinadi va boshqarish pultiga yo'naltiriladi.

Agar burg'u qudug'i atrofidagi maydon bir jinsli bo'lsa, Om qonuni asosida elektrodlar orasida yuzaga keluvchi U kuchlanish, shu tog' jinsidan o'tuvchi tok kuchi I va uning elektr qarshiligi R ga to'g'ri proporsional bo'ladi, ya'ni $U = RI$. Ammo $R = \rho \frac{l}{S}$ ni hisobga olib, $\rho = \frac{US}{Il}$ ni yozamiz. Bu yerda ρ – muhitning solishtirma qarshiligi, l – elektrodlar orasidagi masofa, S – burg'u qudug'ining kesim yuzasi.

Solishtirma qarshilikning qiymatini bilgan jadvallar yordamida tog' jinslarining tarkibini aniqlash mumkin.

Vertikal quduqlar tog' jinslarning har xil solishtirma qarshilikka ega qatlamlarini kesib o'tadi. Zondlash natijasida tog' jinsi qatlamlarining, solishtirma qarshiligini chuqurlikka bog'liq holda o'zgarish qonuniyatini o'rganish mumkin. Bu qonuniyatlar esa tog' jinslari qatlamlari haqida qo'liq ma'lumot berib, nodir Metallik hamda neftli qatlamlar qaysi chuqurlikda joylashganini aniqlash imkonini beradi.

2.4. Berk zanjir uchun Om qonuni

Har qanday berk elektr zanjirlar tashqi qism deb yuritiladigan iste'molchi va ichki qism deb ataladigan tok manбайдan iborat bo'ladi. Bunday zanjirda zaryadga elektr kuchlari bilan bir qatorda tashqi kuchlar ham ta'sir etadi. Shu tufayli tok zichligi quyidagicha ifodalanadi.

$$j = \sigma(E_2 + E^*) = \frac{1}{\rho}(E_2 + E^*) \quad (2.22)$$

(2.22) ning ikkala tomonini dl - ga ko'paytirib integralash natijasida quyidagini hosil qilamiz.

$$\oint_L \frac{I\rho}{S} dl = \oint_L E_l dl + \oint_L E^* dl$$

yoki

$$I = \frac{\varepsilon + (\varphi_2 - \varphi_1)}{R^*} \quad (2.23)$$

(2.23) bir jinsli bo'lmagan tok zanjiri uchun Om qonunidir. R^* - zanjirning to'liq qarshilikgi.

$$R^* = \oint \frac{\rho}{S} dl$$

Berk zanjir uchun tashqi va ichki qarshiliklarning mos holda R va r deb belgilasak:

$$I = \frac{\varepsilon}{R+r} \quad (2.24)$$

(2.24) berk zanjir uchun Om qonunini ifodasidir. *Berk zanjirda tok kuchi EYuK ga to'g'ri proporsioonal, zanjirning tashqi va ichki qarshiliklarini yig'indisiga esa teskari proporsionaldir.*

Agar $R \rightarrow 0$ bo'lsa, tok maksimal qiymatga erishadi, qisqa to'tashuv sodir bo'ladi.

$$I = \frac{\varepsilon}{r} = I_{max}$$

Qisqa to'tashuv ko'ngilsiz hodisalarning sababchisi hisoblanadi, buning oldini olish uchun zanjir esa elektr saqlagich bilan jihozlanadi. Agar $R \rightarrow \infty$ bo'lsa, zanjir ochiq bo'lib kuchlanish EYuK ga teng bo'ladi.

$$U = IR = \frac{\varepsilon}{R+r} \cdot R = \frac{\varepsilon}{1 + \frac{r}{R}} = \varepsilon$$

2.5. Joule – Lens qonuni

Kuchlanish manbaiga ulangan tok zanjirning bir jinsli qismini kuzatamiz. Elektr kuchlari dt - vaqt oralig'ida $q=Idt$ zaryadni ko'chirib ish bajaradi:

$$dA = q \cdot U = IUdt \quad (2.25)$$

Om qonuniga muvofiq bu ish quyidagicha ifodalanadi:

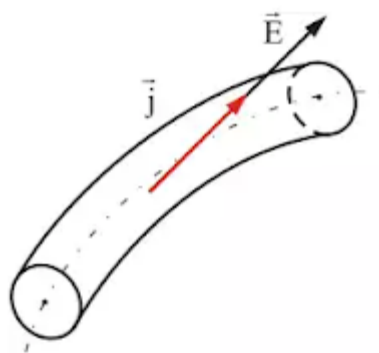
$$dA = I^2 R dt = \frac{U^2}{R} dt \quad (2.25)$$

Agar zanjir qo'zg'almas bo'lib unda hech qanday kimyoviy o'zgarishlar sodir bo'lmasa bajarilgan ish o'tkazgichning ichki energiyasiga oshishiga

sarflanadi. Hamda o'tkazgich qiziydi. Buni Joule va Lenslar (1844-yilda) bevosita aniqlaganlar energiyani saqlanishi qonuniga muvofiq $dQ=dA$.

$$Q = \int_0^1 I^2 R dt \quad (2.26)$$

(2.26) ifoda Joule – Lens qonunining ifodasidir.



Tokli o'tkazgichlardan ajralib chiqqan issiqlik miqdori, tok kuchining kvadrati bilan o'tkazgich qarshiligi va tokning o'tish vaqtiga proporsionaldir. Tokli o'tkazgichlardagi issiqlik hodisalarini xarakterlash uchun solishtirma quvvati tushunchasidan foydalanadil. *Birlik hajmda 1 sekund vaqt oralig'ida ajralib chiqqan issiqlik miqdoriga son jihatidan teng kattalik solishtirma issiqlik quvvati deyiladi va quyidagicha ifodalanadi.*

$$\omega = dQ/dvdt \quad (2.27)$$

Tok kuchini uning zichligi orqali ifodalab :

$$dQ = I^2 R dt = (jdS)^2 \rho (dl/dS) \cdot dt = j^2 \rho dV dt \quad (2.28)$$

(2.27) va (2.28) lardan :

$$\omega = \rho j^2 \quad \text{yoki} \quad \omega = \sigma E^2 \quad (2.29)$$

(2.29) – Joule – Lens qonunining differensial ko'rinishidir.

Elektr tokining issiqlik ta'siridan har xil maqsadlarda foydalanish mumkin. Cho'g'lanma tog'lari lampa yaratilishi mufel peslarining ishlash prinsiplari har xil isitgich asboblari elektr tokining issiqlik tokiga asoslangan.

2.6. Tarmoqlangan Zanjirlar uchun Kirxgof qonuni

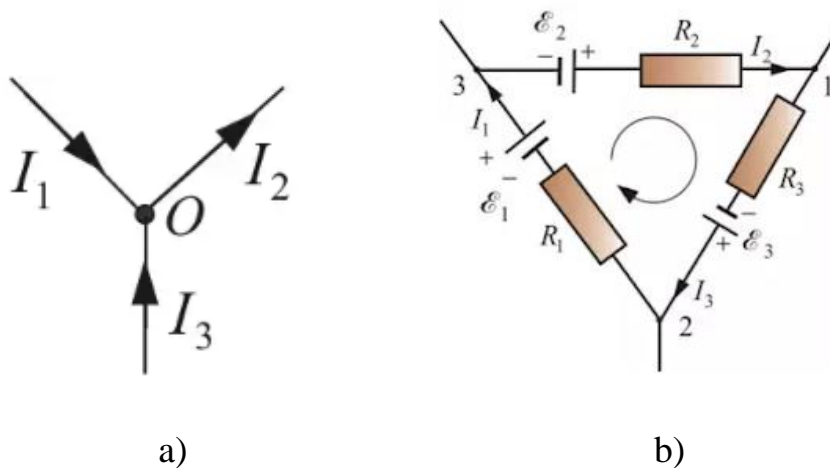
Tarmoqlangan zanjir kattaliklarini hisoblashda Kirxgof qoidalariga rioya qilish hisoblashlarni ancha soddalashtiradi. Bu qoidalardan biri tugun (3 yoki undan ortiq o'tkazgichlarning tutashgan nuqtasi) ga tegishli bo'lib u quyidagicha ta'riflanadi:

Tugunda uchrashuvchi toklarning algebraik yig'indisi nolga teng.

$$\sum I_i = 0 \quad (2.30)$$

Masalan quyida ko'rsatilgan tugun uchun (2.5a-rasm). Kirxgofning birinchi qoidasi :

$$I_1 - I_2 + I_3 = 0. \quad (2.31)$$



2.5 - rasm

Odatda tugunga keladigan toklar musbat ishora bilan, chiqayotgan toklar manfiy ishora bilan olinadi. Bu qoidaning tog'riligi quyidagi mulohaza bilan kelib

chiqadi: Agar toklarning algebraik yig'indisi noldan farqli bo'lganda edi, tugunda zaryadlarning to'planishi yoki kamayishi sodir bo'lib, bu esa o'z navbatida zanjirdan o'tuvchi toklarning o'zgarishiga olib kelar edi.

Kirxgofning ikkinchi qoidasi tarmoqlangan zanjirda olinbgan berk konturga htegishli bo'lib, Om qonunining umumlashtirilishi tufayli vujudga kelgan. Har qanday berk konturdagi tok kuchlari bilan qarshiliklari ko'paytmasining algebraik yig'indisi, shu konturdagi EYuK larning algebraik yig'indisiga teng (2.5a-rasm).

$$\sum_{i=1}^k I_i R_i = \sum \varepsilon \quad (2.32)$$

Masalan quyida ko'rsatilgan berk kontur uchun (2.5b-rasm). Kirxgofning ikkinchi qoidasi :

$$\begin{aligned} \phi_2 - \phi_3 + E_1 &= I_1 R_1; \\ \phi_3 - \phi_1 + E_2 &= I_2 R_2; \\ \phi_1 - \phi_2 + E_3 &= I_3 R_3. \end{aligned}$$

Kirxgof tenglamalarini tuzishda quyidagi tartibga rioya qilish lozim:

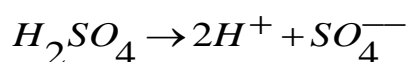
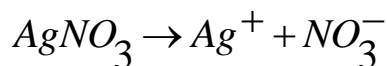
1. Zanjirning barcha qismlaridagi tok yo'nalishini tanlab olib belgilab qo'yiladi.
2. Mustaqil berk konturlar uchun tenglamalar sistemasi tuziladi.

2.7. Elektrolitlarda elektr toki

Elektr tokini yaxshi o'tkazadigan, molekulalari qarama-qarshi ishorali ionlardan tashkil topgan suyuqliklar elektrolitlar deb ataladi. Elektrolitlarga tuz, kislota va ishqorlarning suvdagi eritmalari kiradi.

Suv yuqori darajadagi qutbli dielektrik ($\varepsilon = 81$) bo'lib, elektr induksiya tufayli aralashma molekulalarining malekulalarining ionli bog'lanishlarini zaiflashtiradi. Issiqlik harakati to'qnashishlari tufayli bu bog'lar uzilib molekula

musbat va manfiy ionlarga ajraladi. Bu jarayon elektrolitik dissotsiatsiya hodisasi deb yuritiladi.



Umuman, ionlarning zaryad miqdori e -ga karrali bo'lib, valentligiga ham bog'liq bo'ladi. Agar hajm birligidagi musbat va manfiy zaryad tushuruvchilarni mos holda n_+ , n_- deb, valentlikni esa z_+ , z_- deb belgilasak, neytral eritma uchun quyidagi $n_+z_+e = n_-z_-e$ tenglik o'rinli bo'ladi.

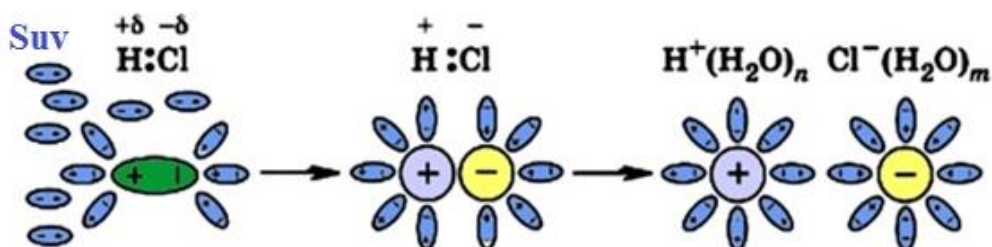
Suvning qutbli molekullari ionlarni o'rab olib, gidrat qobiq hosil qiladi. Gidrat qobiq ionlarning rekombiyatsiyalanishiga yo'l qo'ymaydi. Ionning o'lchami uchun esa anashu gidrat qobiq radiusi qabul qilingan. Bir jinsli elektr maydonidagi ionlarga elektr kuchlari

$$F = Z_+ e E \quad (2.33)$$

Bilan birga ishqalanish kuchlari,

$$F = -6\pi\eta r_+ \bar{u}_+ \quad (2.34)$$

ham ta'sir etadi. η – qovushqoqlik koeffitsiyenti.



2.6-rasm

Ionlarning tekis harakatida, ularga ta'sir etuvchi kuchlar muvozanatlangan holat bo'ladi ya'ni

$$\begin{aligned} \bar{F}_0 + F_{ish}^- &= 0 \\ Z_+ eE - 6\pi\eta r_+ \bar{u}_+ &= 0 \end{aligned} \quad (2.35)$$

(2.35)dan ionning tezligi uchun:

$$u_+ = \frac{Z_+ E e}{6\pi\eta r_+} = \epsilon E \quad (2.36)$$

bu yerda,

$$\epsilon = \frac{Z_+ e}{6\pi\eta r_+} \quad (2.37)$$

ionning harakatchanligi deb yuritiladi va $E = 1V/m$ bo'ladigan tezlikni bildiradi.

Yuqoridagilani hisobga olib, elektrolitlarda tokning zichligi uchun quyidagini yoza olamiz:

$$j = nze(\epsilon_+ + \epsilon_-)E \quad (2.38)$$

(2.38) elektrolitlar uchun Om qonunining differensial ko'rinishidir.

$$\sigma = nze(\epsilon_+ + \epsilon_-) \quad (2.39)$$

σ - elektrolitlarning elektr o'tkazuvchanligini bildiradi.

M.Faradey (1836y) tajriba yo'li bilan, elektroliz vaqtida elektrolarlarda ajralib chiqqan moddaning miqdori zaryad miqdoriga to'g'ri proporsional ekanligini aniqladi.

Elektroliz vaqtida elektrodlarda valentligi z - bo'lgan N - ta ion razryadlansa, ko'chirilgan zaryad miqdori:

$$q = NeZ \quad (2.40)$$

ga teng bo'ladi.

Elektroliz tufayli ajralib chiqqan modda miqdori

$$M = Nm \quad (2.41)$$

m - ion massasi.

(2.40) va (2.41) ifodalardan

$$\frac{M}{q} = \frac{m}{eZ} = k \quad (2.42)$$

(2.42) dagi k - elektrokimyoviy koeffitsiyent deb yuritiladi va 1 Kulon zaryad miqdori o'tganda elektrodlarda qancha modda ajralib chiqishini bildiradi.

(2.42) dan $M = kq = kIt \quad (2.43)$

Elektroliz vaqtida ajralib chiqqan modda miqdori ko'chirilgan zaryad miqdoriga proporsionaldir. Tajribalar ko'rsatishicha, elektrokimyoviy koeffitsiyent moddaning atom og'irligi va valentligiga bog'liq bo'lib, u quyidagicha ifodalanadi:

$$k = \frac{m}{eZ} \cdot \frac{N_A}{N_Z} = \frac{A}{N_A eZ} \quad (2.44)$$

A/z - kimyoviy ekvivalent; $N_A e = F$ - Faradey soni deyiladi.

(2.44) ni hisobga olib (2.43) ni soddaroq ko'rinishga keltiramiz:

$$M = \frac{1}{F} \cdot \frac{A}{Z} \cdot q \quad (2.45)$$

Elektroliz vaqtida 1 kg ekvivalent modda ajratib olish uchun qancha zaryad miqdori ko'chirilishini ko'rsatadigan kattalik Faradey soni deb yuritiladi;

$$F=q=9,64 \cdot 10^7 \text{ kl/kgev} \quad \text{yoki} \quad F=96500 \text{ kg/gr.ekv}$$

2.8. Gazlarda elektr toki

Gazlar, metallar va suyuqliklardan farqli o'laroq neytral atom va molekulalardan tashkil topgan. Normal sharoitda gazlar izolyator hisoblanadi.

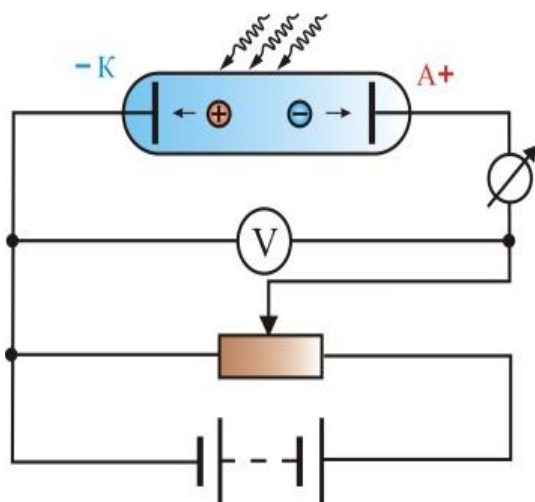
Agar gazlarda biror usul bilan zaryad tashuvchilar hosil qilinsa, ular tok o'tkazishlari mumkin. Gazlarning tashqi ta'sirlar (qizdirish, rentgent nurlari, radioaktiv nurlanish) tufayli tok o'tkazish gaz razryadi deb yuritiladi.

Gaz zaryadi, gazning tabiati, elektrodning shakli va o'lchamlari hamda zanjir parametrlariga bog'liq. Shu tufayli zaryad tovush effekti va nurlanish bilan kuzatiladi.

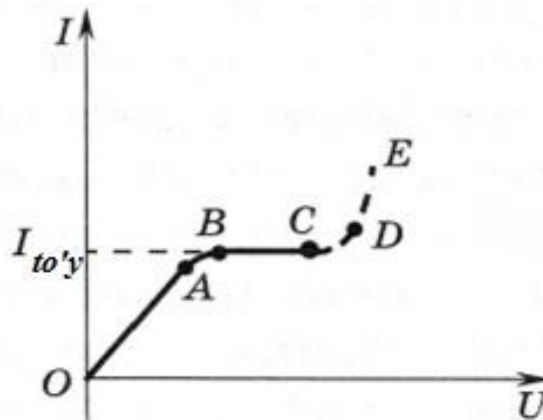
Nomustaqil razryad

Faqat tashqi ionlovchi agent tufayli gazlardan tok o'tishi nomustaqil razryad deb yuritiladi. Gazlar atom molekulalari musbat va manfiy zaryadli zarrachalarning turgun sistemasidir. Ularni elektron va musbat ionga parchalash uchun ma'lum energiya sarflash lozim bo'lib, bu ionlashtirish energiyasi deb yuritiladi. Ionlashtirish energiyasi har xil gazlardaturlicha bo'lib, 4:25 eV oralig'ida o'zgaradi.

Ionlashtiruvchi agent ta'siri ostidan L-gaz qatlami bilan ajratilgan S-kesimli elektroddan iborat quyidagi zanjirni kuzatamiz.



2.7a-rasm



2.7b-rasm

Ionagent intensivligi o'zgarmas bo'lib, vaqt birligi ichida α ta juft ion hosil qilsa, ionlashtirish bilan birga rekombinatsiya jarayoni ham kuzatiladi. *Musbat va manfiy zaryadli zarrachalar birikib, neytral atom yoki molekulalarni hosil qilishi rekombinatsiya deb ataladi.*

Hajm birligida bir sekund vaqt oralig'idagi rekombinatsiyalashgan juft ionlar sonini βn^2 deb belgilaymiz. Tok o'tishi tufayli elektrodalarda razryadlashgan ionlar soni uchun $n = \frac{1}{e} = j \cdot \frac{S}{e}$ ni yoza olamiz.

Kuzatilayotgan gaz qatlami hajmidagi ionlar sonining vaqt birligi ichidagi o'zgarishi $SL \cdot \frac{dn}{dt}$, ionizatsiya tufayli vujudga kelgan ionlar soni $L \cdot S \cdot \alpha$, rekombinatsiyalashgan ionlar soni $\beta n^2 SL$ va elektrodalarda razryadlangan ionlar soni $\frac{I}{e} = j \cdot \frac{S}{e}$ -orqali aniqlanadi.

$$S \cdot L \frac{dn}{dt} = L \cdot S \cdot \alpha - \beta n^2 SL - j \frac{S}{e} \quad \text{yoki} \quad \frac{dn}{dt} = \alpha - \beta n^2 - \frac{j}{eL}$$

Muvozanat shartiga ko'ra $n = \text{const}$ $dn/dt = 0$

$$\alpha = \beta n^2 + \frac{j}{eL} \quad (2.46)$$

Kuchsiz elektr maydonida $\frac{j}{eL} \ll \beta n^2$; $\alpha = \beta n^2$; $n = \sqrt{\frac{\alpha}{\beta}}$

Yuqoridagilarni hisobga olib, tok zichligi uchun

$$j = \sqrt{\frac{\alpha}{\beta}} e(\epsilon_+ + \epsilon_-) E \quad (2.47)$$

(2.47) ifoda gazlarda elektr toki uchun Om qonuning differensial ko'rinishidir.

Natijada, kuchsiz elektr maydonida tok zichligi maydon kuchlanganligiga proporsional ravishda ortadi degan xulosaga kelamiz (2.7b-rasm OA-qismi).

(2.46) dagi

$$\sigma = \sqrt{\frac{\alpha}{\beta}} e(\epsilon_+ + \epsilon_-) \quad (2.48)$$

(2.48) da gazlardagi elektr o'tkazuvchanlikni bildiradi.

Kuchliroq maydonda ionlar rekombinatsiyalashishga ulgura olmay, ko'proq qismlari tok o'tkazuvchanlikda qatnashadi.

$$\alpha = \frac{j}{eL}; \quad \frac{j}{eL} \gg \beta n^2; \quad j = LeL = const; \quad I = jS = \alpha \cdot eLS;$$

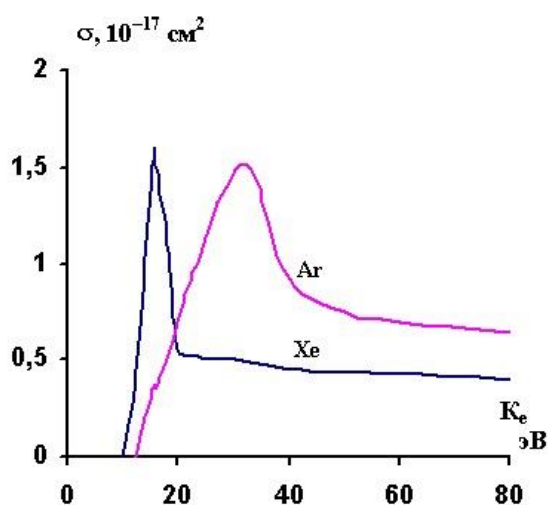
Bundan tok zichligi maydon kuchlanganligiga bog'liq bo'lmay, balki o'zgarmas kattalik ekanligi kelib chiqadi (35-b –rasm BC qism). Juda kuchli maydonda musbat ionlar katodga katta energiya bilan urilib, qo'shimcha elektronni emissiyalaydi. Bu esa ionlashish jarayonini kuchaytiradi, natijada tok keskin ortadi (2.7-b, rasm CE-qism).

2.9. Mustaqil razryad va uning turlari

Yuqori kuchlanish maydonida, faqat elektr kuchlari ta'siri ostida gazlardan tok o'tish protsessi mustaqil razryad deb yuritiladi. Normal sharoitda kosmik nurlar, yer qaridagi radiatsiya tufayli havo atmosferasining har bir kub sm ga 10^3 juft ion hosil qiladi. Yetarlicha kuchli maydonda, bu ionlar erkin yugurish oralig'ida to'plangan kinetik energiya tufayli neytral molekulalar bilan to'qnashib turadi.

$$W = eU \lambda = \frac{eU \cdot \lambda}{L} \quad (2.49)$$

Agar to'plangan energiya uncha katta bo'lmasa, to'qnashuv birinchi tur noelastik to'qnashuv deyiladi va molekula energiya yutib uyg'ongan holatga o'tdi. Uyg'ongan molekulalar nurlanish tufayli stabil (turg'un) holatga qaytadi. Shunday qilib, gazlardan tok o'tishi nurlanish bilan kuzatiladi.



2.8-rasm

Agar maydon yetarlicha kuchli bo'lmasa, ikkinchi tur noelastik to'qnashuv sodir bo'ladi. Natijada molekulalar musbat ion va elektronga parchalanadi. Ular ham o'z navbatida ionagenga aylanadi. To'qnashuvning qanday bo'lishi zarracha

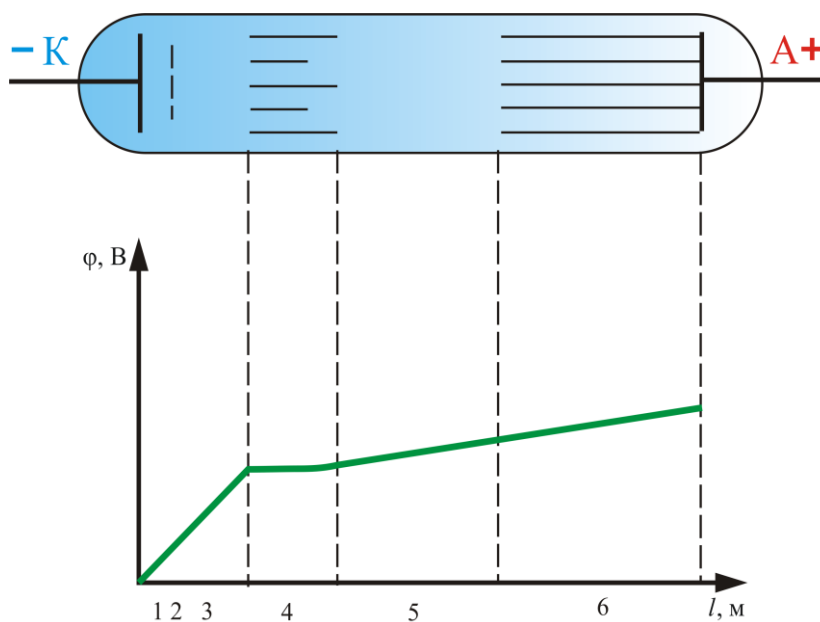
energiyasiga bog'liq bo'lib, u ma'lum ehtimollik bilan amalga oshadi, ya'ni energiyaga ega zarrachalarning ionlashtirish ehtimoli katta bo'ladi.

Mustaqil razryadda zaryad tashuvchilar (elektronlar)ning turli sabablarga vujudga keltirish mumkin. Shu tufayli gaz razryadlari ham turlicha nom oladi. Fotoionizatsiya, avtoelektron emission hodisalar, yolqin zaryad va hokazo.

Yolqin razryad

Past bosim ($p=0,1\text{mm}$ simob ustuni) da va bir necha yuz volt kuchlanishda siyraklashtirilgan gazlardan tok o'tishi natijasida yolqin razryad hosil bo'ladi.

Yolqin razryadni $0,3-0,5\text{m}$ chamasida bo'lgan, ichiga yassi metall elektrod kavsharlangan naylarda kuzatish mumkin.



2.9-rasm

Elektrodlar kuchlanish manbaiga ulansa, naychada katod oldi qorong'u fazo bilan ajratilgan, anod nurlanish ustuni hosil bo'ladi. Katod oldi qorong'u fazoda potentsiallar farqi tushuvi katta gradiyent maydon hosil qiladi. Ana shu maydonda yetarlicha energiya to'plagan musbat ionlar katoddan elektron emissiyalaydi. Emissiyalangan elektronlar esa anod maydonida tezlashib, to'qnashuv tufayli gaz

molekulalarini ionlashtirib razryadni birday saqlab turadi. Yolqin razryad nurlanishining rangi har xil gazlar uchun turlicha, neon-qizil, argon-ko'k, yashil va hokazo bo'lib, ulardan turli maqsadlar (bezakli yozuv va reklamalar) da foydalaniladi.

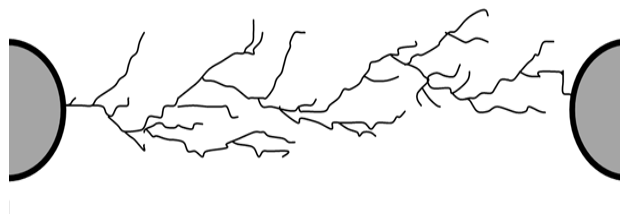
Toj razryad

Toj razryad atmosfera bosimi va undan yuqori bosimlarda bir jinsli bo'lmagan elektr maydonida uchlik elektrodlardan razryadning sirikishi natijasida vujudga keladi. Toj razryad siriqqan zaryadli zarrachalar bir jinsli bo'lmagan maydonda havo molekulalari bilan to'qnashib, kuchsiz binafsha rangda tojga o'xshash nurlanish orqali kuzatiladi. Tabiatda toj razryadi kema machtalarining uchli qismlarida, atmosferadagi elektr maydoni tufayli yer qobig'ining induksiyalangan zaryadlarda to'plangan joylarda, shuningdek yuqori kuchlanishli elektr uzatish liniyalarida kuzatiladi. Toj razryadi elektr energiyasining isroflanishiga sabab bo'ladi.

Uchqun razryad

Elektr maydon kuchlanganligi $E = 3 \cdot 10^6$ V/m bo'lganda atmosfera bosimi sharoitida gaz molekulalarining ionlashishi tufayli qisqa muddatli uchqun razryad kuzatiladi.

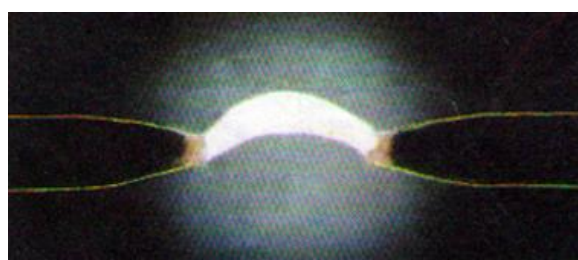
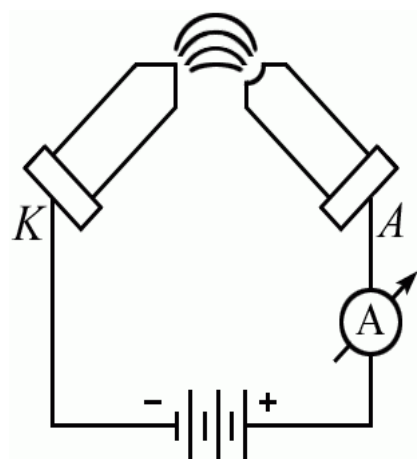
Uchqun razryad ravshan shulalanuvchi ilon iz orqali tarmoqlangan, kuchli ionlashgan kanallarda sodir bo'ladi. Uchqun yo'lida gaz temperaturasi 1000 K va undan yuqori bo'ladi. Qattiq qizish bosimining keskin ortib ketishiga va natijada zarbali tovush hosil bo'lishiga olib keladi. Tabiatda uchraydigan uchqun razryadga yashin misol bo'la oladi. Uning uzunligi bir necha o'nlab km, kanal diametrik 0,5 m, tok kuchi 10^5 A gacha bo'lib, impuls 10^{-4} sekund davom etadi. Uchqun razryaddan ichki yonuv benzinli dvigatellarni o't oldiruvchi mexanizm sifatida hamda metallarga ishlov berishda foydalaniladi.



2.10-rasm

Yoy razryadi

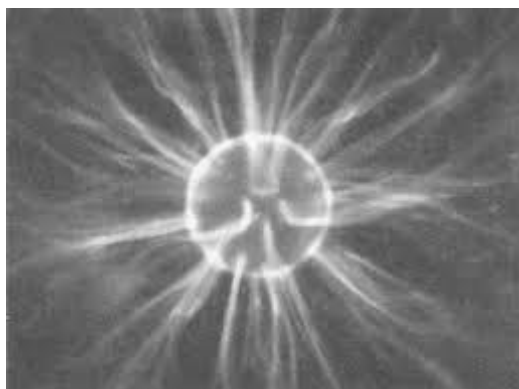
Uchqun oralig'i kichik bo'lganda, bir necha o'n volt kuchlanishda ham razryad shaklida bo'lishi V. Petrov (1802y) tomonidan kashf etilgan. Yoy razryadi davomida manfiy elektrod uchi o'tkirlashib musbat elektrod esa yemirilib, chuqurlashgan krater hosil qiladi. Bunda yoyning eng yorug' qismi kraterda bo'lib hisoblanadi. Kraterning temperaturasi 4000 K, 100 atm. bosimda esa 10^4 K gacha yetishi mumkin. Yoy razryadining bu xususiyatidan metallarni payvandlashda, keyin eriydigan moddalar- platina, xrom, vannaday, volfram kabilarni ajratib olishda ishlatiladi.



2.11-rasm

Plazma

Gazlarning har bir elementar hajmidagi elektron va ionlarning yig'indi zaryadi nolga teng bo'lgan sharoitdagi yuqori darajada ionlashgan holati plazma deb yuritiladi.



2.12-rasm

Plazmada musbat va manfiy zaryadning hajmiy zichligi absolyut qiymati deyarli bir xil bo'ladi.

$$\rho_+ = |\rho_-| \quad \text{yoki} \quad \rho_+ + \rho_- = 0$$

Plazma o'ziga xos energetik xususiyatlarga ega. Issiqlik harakati tufayli ionlarning oniy zichligi tartibsiz o'zgarib (zichlikni issiqlik fluktuatsiyasi) muvozanatni buzadi. Ionlashgan gaz hajmi V fluktuatsiya o'lchami D -dan juda katta. $V \gg D^3$ bo'lganda uni plazma D -debay radiusi deb yuritiladi. Ma'lumki plazmada joylashgan M -zaryadli zarracha (ion, elektron, proton va h) potentsiali r -ag teskari proporsional bo'lib

$$\varphi_0 = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (2.50)$$

Issiqlik harakati tufayli har bir zaryad qarama-qarshi ishorali zaryad bilan o'rab olingan bo'ladi (Zaryadli zarrachalar go'yo ekranlashtirilgan) shu tufayli plazma ichidagi maydon potentsiali r radiusi ortishi bilan tezroq kamayadi

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r} e^{-\frac{r}{D}}$$

D – ekranlashtirilgan debay radiusi:

$$D = \sqrt{\frac{\epsilon_0 kT}{(2n_0 e^2)}} \quad (2.51)$$

Agar effektiv radiusli sfera ichida bir xil ishorali zarrachalar soni juda katta bo'lsa:

$$N = \frac{4}{3} \pi D^3 n_0 \gg 1$$

O'rtacha uzoqlikdagi Kulon ta'sir kuchlarining potensial energiyasi issiqlik harakati energiyasidan kichik bo'ladi

$$\frac{e^2 n_0^{1/3}}{4\pi\epsilon_0} \ll kT$$

Bunday holatdagi plazma ideal plazma deb yuritiladi.

Ideal plazmalarning termodinamik xususiyati ideal gaz qonunlariga bo'y so'nadi $P=n_0kT$. Plazmalarni xarakterlashda ionlashish darajasiga e'tibor berish lozim. Ionlashgan zarrachalar sonini bir kub santimetr plazmadagi barcha zarrachalar soniga nisbati bilan aniqlanadigan α - kattalik ionlashish darajasi deb yuritiladi. Ionlashish darajasiga qarab plazmalar (α -10%) zaif ionlashgan, (α -50%) barobar ionlashgan va (α -100%) to'la ionlashgan turlarga ajratiladi.

Plazma hosil qilishda turli vositalardan foydalanish mumkin:

1. Yetarli darajada qizdirilganda atom molekullarni to'qnashuvidan vujudga keladigan ionlashtirishdagi plazma (masalan, $T=10^4$ $\alpha=10\%$, $T=2 \cdot 10^4$ da $\alpha=98\%$);
2. Zaryadli zarrachalar bilan to'qnashganda vujudga keladigan ionlashish (masalan elektr razryadlanish);

3. Elektromagnit to'liq energiyasini yutish tufayli vujudga keladigan ionlashish fotoionizatsiya. Plazmalar ion temperaturasi ko'ra past temperaturali ($T_i < 10^5 \text{K}$) va yuqori temperaturali ($T_i > 10^7 \text{K}$) turlarga ajratiladi.

Plazma quyidagi hossalarga ega: o'ta ionlashgan bo'lib, yuqori elektr o'tkazuvchan (o'ta o'tkazuvchan) nurlanishga, elektr va magnit ta'sirlarga ega. Bu xususiyatlar plazmaning shunday yangi xususiyatlarini vujudga keltiradi, uni hisobga olib plazmani modulining to'rtinchi holati deb ham yuritiladi. Plazma olamda keng tarqalgan. Quyosh va yulduzlar ham yuqori temperaturali plazmalardir. Ularning nurlanishi uning qarida kechadigan terma ($10^7 - 10^9 \text{K}$) yadroviy sintez energiyasi tufaylidir.

Yulduzlararo muhit. Shuningdek tumanliklar ham past temperaturali plazmadan iborat bo'lib, u fotoionizatsiya tufayli vujudga keladi.

Yer atrifidagi fazoda plazma radiatsion poyas ionisferalarda uchraydi. Plazmatik fluktuatsiyalar magnit bo'ronlarini, qutb yog'dusini vujudga keltiradi, radiotelealoqalarni buzadi, ionosfera hosil qilib ultrabinafsha va kosmik nurlardan himoya qatlamini ham hosil qiladi.

Past temperaturali plazmalar xalq xo'jaligini barcha tarmoqlarida: yorug'lik manbai sifatida, lazer texnikasida, metallarni qirqish, pishirish meditsinada davolash vositalarini ishlab chiqarishda ishlatiladi. Plazma yuqoridagilardan tashqari raketa dvigatellarining ishchi moddasi sifatida MGD-generatorlarida ishlatiladi. Kelajakda plazmalardan boshqariladigan termoyadroviy sintez reaksiyalarini amalga oshirish rejalashtirilmoqda. Bu asosida kishilik jamiyati bitmas tuganmas energiya manbaiga ega bo'lishi mumkin.

Plazma ikki turga ajratiladi yuqori temperaturalik izotermik plazma va gaz razryadli izotermik plazma. Plazmani xarakterlashda ionlashish darajasiga e'tibor berish lozim. Ionlashgan zarrachalar sonining bir kub santimetr plazmadagi barcha zarrachalar soniga nisbati bilan aniqlanadigan kattalik – ionlashish darajasi deb

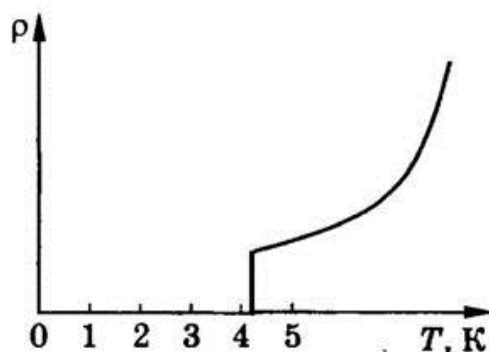
yuritiladi. Zaif ionlashgan ($\alpha = 10\%$), barobar ionlashgan ($\alpha = 50\%$) va to'la ionlashgan ($\alpha = 100\%$) gazlar plazma deb yuritiladi. Noizotermik plazmada zaryadli zarrachalar elektr maydonida tezlanishi tufayli turlicha o'rtacha kinetik energiya to'playdi. Shuning uchun ularning temperaturasi ham har xil bo'ladi. $T_e > T_u$. Yuqori temperaturali plazma muvozanatli yoki izotermik bo'ladi. Rekombinatsiyalangan zarrachalar o'rnini termik ionizatsiya hisobiga to'ldirilib turiladi, natijada plazmadagi zaryadli zarrachalarning kinetik energiyasi o'zgarmaydi.

Plazma quyidagi hossalarga ega: u o'ta ionlashgan bo'lib, yuqori elektr o'tkazuvchanlikka, nurlanishga elektr va magnit ta'sirlarga ega. Bu xususiyatlar plazmaning shunday yangi hossalari vujudga keltiradiki, uni hisobga olib, plazmani moddaning to'rtinchi holati deb yuritish mumkin.

O'ta o'tkazuvchanlik hodisasi

Kristal panjara tugunlaridagi begona atomlar tufayli vujudga kelgan nuqsonlarni qoldiq qarshilikka ta'sirini o'rganish uchun o'tkazilgan tajribalarda Kamerling –Onnes 1911-yil kutilmagan hodisaga duch keldi.

O'ta tozalangan simobning past temperaturada ($T=4.2\text{K}$) qarshilikni yo'qolishini aniqladi. Bunda o'tkazgichda vujudga keltirilgan induksion tok uzoq vaqt o'tib to'rgan. Shu tufayli bu hodisa o'ta o'tkazuvchanlik deb yuritiladi.



2.13-rasm

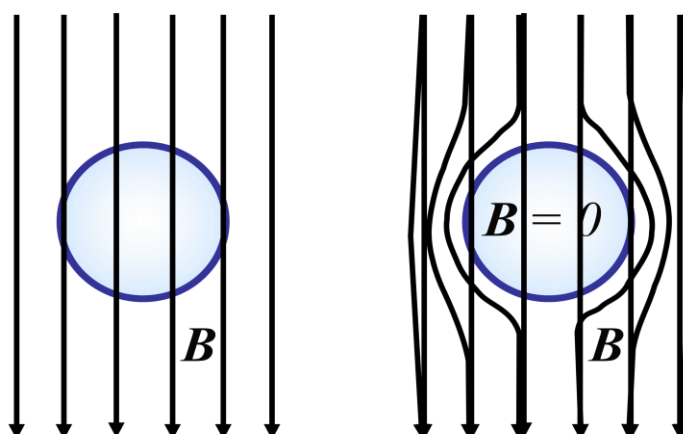
Moddalarning o'ta o'tkazuvchanlik holatiga o'tish temperaturasi T_k -kritik temperatura deyiladi va u moddalarning izotoplari tarkibiga bog'liq bo'lib:

$$T_k M^{1/2} = \text{const}$$

M - moddaning har xil izotopdan tarkib topgan o'rtacha atom massasidir.

O'ta o'tkazuvchanlik magnit maydoni ta'sirida yo'qoladi buning uchun magnit maydon kuchlanganligi N kritik kuchlanganligi N_k - dan kam bo'lmasligi lozim. Moddalarning temperaturasi kamayishi bilan N_k - ortadi.

1933-yil Maysner magnit maydoniga joylashtirilgan o'tkazgichlar magnit induksiya chiziqlarini o'zidan itarib chiqarishligini - diomagnitik bo'lishini aniqladi va bu hodisaga *Maysner effekti* deyiladi.



2.14-rasm

Maysner effekti o'tkazgich holatdagi a) moddalarning qarshiligini yo'qotish bir biriga bog'liq bo'lmagan hossalardir.

Soyar toza metallar o'ta o'tkazuvchanlik holatiga o'tishida issiqlik o'tkazuvchanligi kam kamayadi. Bu shu bilan tushuntiriladiki elektr toki va issiqlik o'tkazuvchanlikga javoblar elektron panjara ionlarini sezmaydilar (ular bilan ta'sirlashmaydi).

O'ta o'tkazuvchanlikni mikroskopik nazariyasini N.Bogolyubov o'tgan asrni oxirlarida ishlab chiqdi. Bu nazariyaga ko'ra metallar tarkibidagi elektronlar Fermi-Dirak taqsimotiga bo'yso'nuvchi gaz deb qaraladi. Elektronlarni o'zaro itarishish Kulon kuchi, panjara tugunlarida ionlar maydonining ta'sirini zaiflashadi. Bundan tashqari elektronlar absalyut holda ham to'xtamaydigan panjara tebranishlari (fononlar) bilan ta'sirlashib yuritilishi yoki "nurlanish" (elektron chiqarish) ya'ni elektron almashinuvi kuzatiladi. Antiparallel spinga ega elektronlar $U_c = kT_k$ energiyaga va nol spinga ega juftlik tashkil etadi.

Elektron juftlik fermi sathidan pastga tor. Energetik sathda joylashgan bo'lib ,absalyut nolga bunday energiyani panjaradan ola olmaydi. Natijada elektron to'qnashmasdan o'tib o'ta o'tkazuvchanlikni hosil qiladi.

Tempraturani ortish bilan elektron juftliklar parchalanib asosiy holatidan kuzlangan holatga o'tadi va energetik tirqish kengligi ortadi. Natijada o'ta o'tkazuvchanlik qoladi.

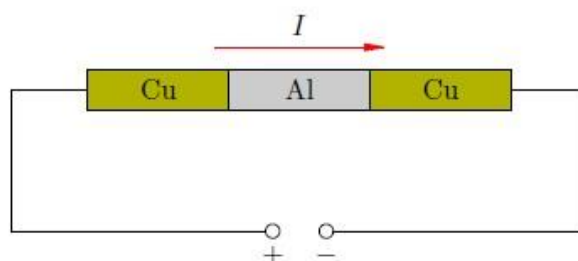
2.10. Metallarda elektr tokining klassik nazariyasi.

Metallarda elektr toki elektronlarning oqimidan iboratligini

tasdiqlovchi tajribalar

Ma'lumki, ba'zi moddalarda elektr toki moddalarning ko'chirilishi bilan o'tkaziladi (elektroliz hodisasi). Tabiiyki, metallarda ham elektr moddaning ko'chirilishi bilan bog'liqmi degan savol tug'iladi. Bunga javob berish uchun, quyidagi tajribalarga e'tiborni qaratamiz: K. Rikki (1901y) birday radiusli silindrik quyma metallardan Cu, Ag, Cu uzoq muddat tok o'tkazib, ($q=3,5 \cdot 10^6$ Kl) moddaning ko'chirilishini kuzatdi. Massani aniq o'lchashda olib borilgan tajribalar ko'rsatishicha, tokning o'tishi metallarda hech qanday o'zgarish hosil qilmaydi. Mikroskopik kuzatish natijalari moddaning ko'chirilishi diffuziya yo'l qo'ygan chegaradan ortmasligini aniqladi. Natijalar metallarda alohida zaryad tashiydigan zaryadli zarrachalar bor degan xulosaga olib keldi.

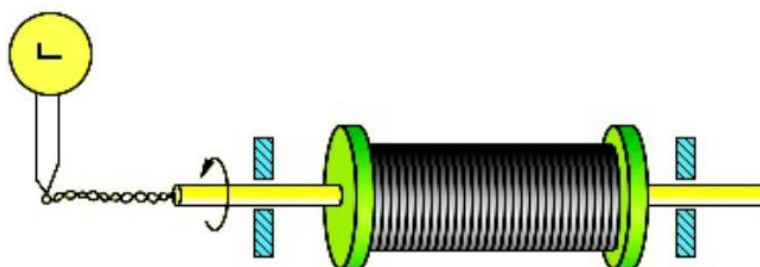
Mandelshtam, Papaliksilar (1913y) metallar tarkibidagi erkin elektronlar inertsiya effektini vujudga keltiradi degan fikrni ilgari surdilar va tezlatilgan o'tkazgichlar tormozlanganda qisqa muddatli tok hosil bo'lishini tajribada ko'rsatdilar.



2.15-rasm

B. Styuart, P.Tolmentlar (1916y) bu tajribani takomillashtirilgan tarzda o'tkazib, natijalarni miqdoriy analiz qilib, metallarda elektr toki elektronlar oqimidir degan xulosaga keladilar.

G'altak ϑ -tezlik bilan aylantirilsa va keskin tormozlansa, harakat miqdorining o'zgarishiga muvofiq inertsiya kuchi hosil bo'ladi.



2.16-rasm

$$\frac{d(m\vartheta)}{dt} = f \quad (2.52)$$

Shu noelektrostatik kuch zaryadni ko'chirib, zanjirda qisqa muddatli tok hosil qiladi. Bu tufayli uni quyidagicha ifodalash mumkin.

$$f = E \cdot e \quad (2.53)$$

e-elektronning zaryad miqdori. (2.52) va (2.53)lardan:

$$d(m\mathcal{G}) = eEdt \quad (2.54)$$

Elektr maydoni potensial gradiyentiga ko'ra :

$$E = \frac{u}{nl}$$

l -bitta o'ramning uzunligi; n -o'ramlar soni

$$d(m\mathcal{G}) = e \frac{u}{nl} dt$$

Om qonuniga muvofiq:

$$d(m\mathcal{G}) = e \frac{R}{nl} Idt$$

$$\int_0^{\mathcal{G}} m d\mathcal{G} = \frac{Re}{nl} \int_0^t Idt$$

$$m\mathcal{G} = \frac{Rl}{nl} It \quad (2.55)$$

(2.53)dan elektronning solishtirma zaryad miqdori uchun (2.56) ni yozamiz.

$$\frac{e}{m} = \frac{nl\mathcal{G}}{RIt} = 1.76 \cdot 10^{11} \frac{kl}{kg} \quad (2.56)$$

Bu tajriba har xil metallar uchun takrorlanganda ham bir xil chiqadi. Demak, metallarda elektr toki erkin elektronlar oqimi natijasidir degan xulosaga kelamiz.

2.11. Metallarning elektr o'tkazuvchanlik nazariyasi

Erkin elektronlar haqidagi tushunchadan foydalanib P.Drude va G.Lorenslar (1900 y) elektr tokining elektr nazariyasini ishlab chiqdilar.

Metall atomlari kristall panjara hosil qilib birikishida valent elektronlar atom bilan bog'lanishni uzib erkin holatga o'tadi. Kristall panjara ichidagi elektron gaz uchun molekulalar kinetik nazariyasi qonunlarini tadbiq etsak,

$$\varepsilon_k = \frac{3}{2}kT; \quad g = \sqrt{\frac{3kT}{m}} \approx 10^5 \text{ m/s} \quad T=300 \text{ K}$$

Bunday tezlik bilan $\tau = \frac{\lambda}{g}$ sekund davomida elektronlar to'qnashmasidan harakatlanishlari mumkin. To'qnashish tufayli harakat tartibsiz o'zgaradi, zaryadli zarrachalarning tartibsiz harakati elektr tokini vujudga keltirmaydi.

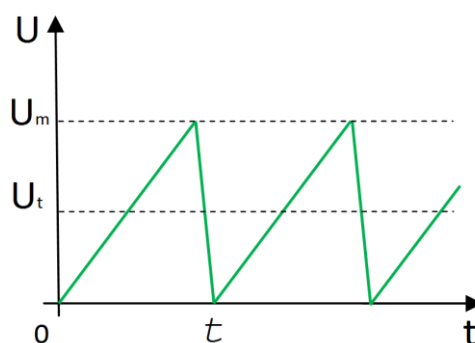
Agar metallga kuchlanish berilsa, elektr maydon kuchlari tufayli elektron tartibli ko'chib tok hosil qiladi. Tok zichligi uchun quyidagini yoza olamiz.

$$j = en \cdot u \quad (2.57)$$

Elektr kuchlari ta'sirida elektron tezlanish bilan harakatlanadi:

$$a = \frac{F}{m} \quad F_{el}=eE \quad a = \frac{eE}{m} \quad (2.58)$$

To'qnashuv tufayli elektronning tezligi noldan u_{\max} - gacha o'zgarib turadi. Elektronning bu harakatini quyidagicha tasvirlash mumkin (2.17-rasm).



2.17-rasm

$$u_{\max} = a\tau = \frac{eE}{m} \tau = \frac{eE}{m} \frac{\lambda}{v}$$

Elektronning o'rtacha tezligi uchun:

$$\langle\langle u \rangle\rangle = \frac{0 + u_{\max}}{2} = \frac{eE}{2m} \frac{\lambda}{v} \quad (2.59)$$

(2.59) Buni hisobga olib, tok zichligining quyidagi ifodasini hosil qilamiz:

$$\hat{j} = \frac{ne^2}{2m} \lambda E \quad (2.60)$$

(2.60) Om qonunining elektron nazariyaga ko'ra differensial ko'rinishidir. Buni Om qonuni bilan taqqoslab, elektr o'tkazuvchanlikning ifodasini hosil qilamiz.

$$\sigma = \frac{ne^2}{2m} \lambda \quad (2.61)$$

Agar elektronlar panjara ionlari bilan to'qnashmaganda edi, erkin yugurish masofasi (λ) demak, elektr o'tkazuvchanlik ham cheksiz katta bo'lar edi. Shunday qilib, Metallar qarshiligi erkin elektronlarning kristall panjara bilan to'qnashishlari natijasidir degan xulosaga kelamiz.

Joul-Lens qonuni

Elektr maydonida tezlanish bilan harakatlanayotgan elektron qo'shimcha energiya to'playdi. Bu qo'shimcha kinetik energiya elektron nazariyaga ko'ra:

$$\Delta E = \frac{mu_{\max}^2}{2} = \frac{e^2 \lambda^2}{2m} E^2 \quad (2.62)$$

Elektron to'plagan energiyasining to'qnashish tufayli panjara tugunlariga to'laligicha beradi. Natijada, panjaraning ichki energiyasi ortadi, metall qiziydi, ya'ni issiqlik ajralib chiqadi.

Hajm birligidagi elektronlar to'qnashishlari sonini n - deb belgilasak, bir sekundda ajralib chiqqan solishtirma issiqlik quvvati quyidagicha ifodalanadi.

$$\omega = \frac{n\Delta E}{\tau} = \frac{ne^2\lambda^2}{2m\theta^2\tau} E^2 = \frac{ne^2}{2m\theta} \lambda E^2 \quad (2.63)$$

Bu esa Joule-Lens qonuning differensial ko'rinishidir.

Videman-Frans qonuni

Ma'lumki, issiqlikni yaxshi o'tkazadigan moddalar elektr tokini ham yaxshi o'tkazadi. Videman hamda Franslar (1853y) issiqlik o'tkazuvchanlikning elektr o'tkazuvchanlikka nisbati barcha moddalar uchun birday bo'lib, absolyut temperaturaning chiziqli funksiyasidir degan empirik qonunni kashf etdilar.

Metallardagi elektron gazga molekulyar kinetik nazariya qonunlarini tadbiq etib, Videman-Frans qonunini nazariy ifodasini keltirib chiqarish mumkin. Elektronni bir atomli gazga qiyoslab, uning issiqlik uzatish koeffitsiyenti uchun quyidagini yozamiz:

$$\chi = \frac{1}{3} nm\lambda\theta c_v \quad (2.64)$$

Solishtirma issiqlik sig'imi uchun esa:

$$C_v = \frac{3R}{2M} = \frac{3k}{2m} \quad (2.65)$$

(2.64) va (2.65) lardan

$$\chi = \frac{1}{2} nk\lambda\theta \quad (2.66)$$

Issiqlik o'tkazuvchanlikni elektr o'tkazuvchanlikka bo'lib va $\frac{m\theta^2}{2} = \frac{3}{2}kT$ - bilan almashtirib quyidagini hosil qilamiz:

$$\frac{\chi}{\sigma} = 3 \left(\frac{k}{e}\right)^2 \quad (2.67)$$

(2.67) Videman-Frans qonunining ifodasidir. Uy temperaturasi sharoitida qator moddalar (Al, Cu, Pb) uchun $\frac{\chi}{\sigma}$ -nisbat tajriba natijalari bilan mos tushadi. Shunday qilib, elektron nazariya asosida o'zgarmas tokning barcha qonuniyatlarini keltirib chiqarish mumkin. Bu esa fizikaning fundamental fan ekanligini isbotlovchi yana bir faktdir. Klassik elektron nazariya qator yutuqlari bilan bir qatorda ba'zi kamchiliklardan ham holi emasdir:

1. Lorens tezliklar bo'yicha Maksvellning taqsimot qonuni elektron gazga qo'llab, $\frac{\chi}{\sigma}$ -nisbatni hisoblangan.

$$\frac{\chi}{\sigma} = 2 \left(\frac{k}{e}\right)^2 T \quad (2.68)$$

Bu esa nazariy ma'lumotlarning tajriba natijalaridan ancha yiroq ekanligini ko'rsatadi.

$$\sigma = \frac{n_0^2 \lambda}{2m v} \quad (2.69)$$

Metallar elektr o'tkazuvchanligi yuqoridagi (2.69) formula yordamida hisoblanganda tajriba natijalaridan ancha yiroq bo'lib chiqdi. Masalan, kumush uchun: $n_0 = 1,6 \cdot 10^{19} \text{ Kl}$, $m = 3,1 \cdot 10^{-31}$, $v = 6 \cdot 10^{28} \text{ m}^3$, $\lambda = 3 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ (λ -panjara doimiysi qodirlik) va o'rta arifmetik tezlik $v = \left(\frac{8kT}{\pi m}\right)^{\frac{1}{2}}$ deb olinganda uy temperaturasida $T = 300^0 \text{ K}$, $\sigma = 2,5 \cdot 10^6 \text{ om}^{-1} \text{ m}^{-1}$ ga teng bo'ladi. Tajriba natijalariga ko'ra elektr o'tkazuvchanlik temperaturaga teskari proporsionaldir $\sigma = 2,510^7 \text{ om}^{-1} \text{ m}^{-1}$. Bunday

natijani olish uchun panjara doimiysini $3 \cdot 10^{-10} \text{m}$ deb emas balki undan yuz marta kattaroq 10^{-12}m deb hisoblashga to'g'ri keladi.

Bundan tashqari elektron gaz konsentratsiyasi n va λ panjara doimiysi temperaturaga bog'liq emas. O'rtacha tezlik $v = \left(\frac{8kT}{\pi m}\right)^{\frac{1}{2}}$ demak, solishtirma qarshilik ham temperaturadan chiqarilgan ildizga teng proporsional ortishi lozim. Tajribada ρ solishtirma qarshilik temperaturani keng intervalida T ga proporsional ortadi. Metallar elektr o'tkazuvchanligining elektron nazariyasining kamchiliklaridan yana biri metallar solishtirma issiqlik masalasidir.

2. Metallarning molyar solishtirma issiqlik sig'imi elektron gazni hisobga olganda, dielektriklikiga qaraganda 1,5 marta ortiq bo'lishi lozim.

$$C_{\mu} = 3R + \frac{3}{2}R = \frac{9}{2}R \quad (2.70)$$

Haqiqatdan ham, metallarning solishtirma issiqlik sig'imi dielektriklikidan farq qilmaydi. Bu nomuvofiqliklar elektronning tabiatida, shuningdek, moddalarning tabiatida ham hali biz hisobga olmagan hossalari (kvant hossalari) mavjudligidan darak beradi.

Metallar elektron o'tkazuvchanlik kvant nazariyasi

Kvant nazariyasiga ko'ra metallar kristall panjarasi tarkibidagi o'tkazuvchan elektroni Fermi – Dirak statistikasiga bo'yso'nuvchi g'alayonlangan (qo'zg'algan) elektron gaz deb qaraladi. Bunday gazlarning solishtirma issiqlik sig'imi panjarani issilik sig'imi $3R$ -dan ortiq bo'lmaydi.

Kvant nazariyasi asosida metallar elektr o'tkazuvchanligi 1928-yilda Zammerfeld ishlab chiqqan:

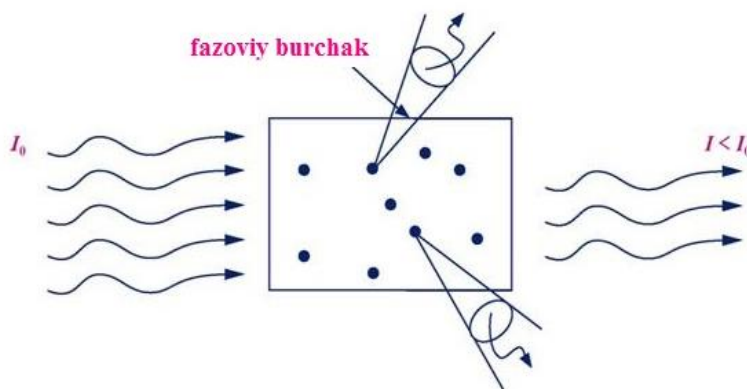
$$\sigma = \frac{ne^2 \lambda(\mu)}{mv(\mu)} \quad (2.71)$$

Bu yerda $\bar{\lambda}(\mu)$ Fermi sathidagi elektronlarning o'rtacha erkin yugurish masofasi bo'lib temperaturaga bog'liq emas. $\bar{v}(\mu)$ - shu elektronlarning tezligi, yuzaki qaraganda bu ifoda klassik nazariyadagi kabi ko'rinishga ega bo'lsada ma'nosi tubdan farq qiladi.

Klassik nazariyadagi ϑ - elektronlarning issiqlik harakatining o'rtacha tezligi bo'lib \sqrt{T} ga proporsionaldir. kvant nazariyasiga ko'ra $v(\mu)$ - temperaturaga bog'liq emas. T har qancha o'zgarsa ham μ deyarli o'zgarmaydi. Klassik nazariyada metallar elektr qarshiligi elektronning panjara doimiysiga teng. Erkin yugurish masofasidagi panjara tugunlari bilan to'qnashuvlar natijasi deb qaraldi.

Kvant nazariyasida esa elektronni metall ichidagi harakati de-Broyl $\lambda_p = \frac{h}{p}$ to'lqinlarning tarqalish natijasidir deb qaraldi.

Optikadan ma'lumki yorug'lik xira moddalardan o'tganda sochilish kuzatiladi. Xira moddalar tuman, suv bug'i, eritmalaridir.



2.18-rasm

x-sochuvchi muhit qalinligi, η - sochilish koeffitsienti.

Yorug'likni sochilishida sochuvchi markazlar asosoy ahamiyatga ega. Kristallarda sochuvchi markazlar begona atomlarni panjara tugunlari yoki panjara yoriqlariga kirib qolish vujudga keltiradi (defektlar). Agar sochuvchi markazlar

oralig'i $l \gg \lambda$ bo'lsa yorug'likni sochilishi kuzatiladi. $l \ll \lambda$ bo'lsa yorug'likni sochuvchi markazlarni "sezmaydi" modda optik tiniq hisoblanadi. Xuddi shuningdek, ideal panjara elektron to'lqinlarga (elektr tokiga ham) qarshilik ko'rsatadi.

Sochuvchi markazlar kristall panjaralarda issiqlik harakati zichlik fluktuatsiyasi tufayli vujudga kelishi mumkin. Kristall panjarani ba'zi joylarda (mikro holatlarda) zichlik o'rtacha qiymatdan ortiq yoki kam borishi mumkin. Bunday sochuvchi markazlar $l \gg \lambda$ elektron to'lqinlarni o'tishga (elektr tokiga ham) qarshilik ko'rsatadi. Sof toza elektron to'lqinlarining zichli fluktuatsiyasida vujudga kelgan markazlardagi sochilish koeffitsientini η_T deb belgilasak u erkin chopish masofasiga teskari proporsionaldir

$$\eta_T = \frac{1}{\lambda} \quad (2.72)$$

η_T -ni issiqlik va mexanik xususiyatlari orqali ifodalasak

$$\eta_T = \frac{\pi n k T}{E d}$$

n - 1m^3 dagi atomlar soni, E - yung moduli, d -panjara doimiysi. Yuqoridagilardan :

$$\lambda = \frac{E d}{\pi n k T}$$

Buni Zammerfeld formulasi qo'yib elektr o'tkazuvchanlik uchun

$$\sigma = \frac{e^2 E d}{m \bar{v} \pi k T}$$

hosil qilamiz.

Yuqoridagiga ko'ra buncha past bo'lmagan temperaturalarda solishtirma elektr o'tkazuvchanlik absolyut temperaturaga teskari proporsional. Demak qarshilik (ρ) ham temperaturaga tog'ri proporsional ortadiki bu tajriba natijalari bilan mos tushadi. Juda oast temperaturalarda ($\lambda \sim T^5$) erkin chopish masofasi temperaturani 5-darajasiga proporsionaldir. Misol tariqasida σ ni kumush hisoblasak $E=10^7 \text{ n/m}^2$, $d=3 \cdot 10^{-10}$, $m=9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$, $kt=4,2 \cdot 10^{-21} \text{ J}$ va $v(\mu)=1,4 \cdot 10^6 \text{ m/s}$ elektr o'tkazuvchanlik $\sigma = 5 \cdot 10^{-7} \text{ om}^{-1} \text{ m}^{-1}$ bo'lib tajriba natijalari bilan juda mos tushadi.

Zichlikni fluktuatsiyadan tashqari kristall panjara tugunlaridagi nuqsonlar (begona modda atom-molekulalar deffekt) ham sochuvchi markazlar bo'lishi mumkin. Shu tufayli sochilish koeffetsienti

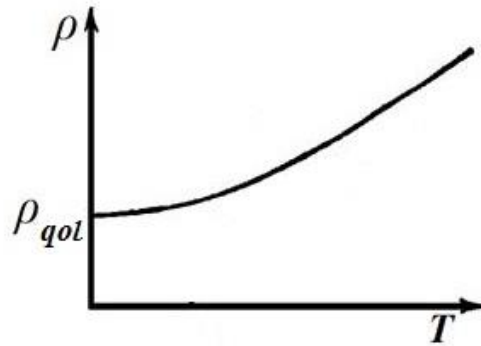
$$\eta = \eta_T + \eta_L$$

Uncha past bo'lmagan temperaturalarda η_T temperatura (T)ga proporsional bo'lib η_L - aralashma konsentratsiyasiga bog'liq emas. Shu tufayli solishtirma qarshilik ham bo'ladi.

$$\rho = \rho_T + \rho_L$$

Bu yerda ρ_T - issiqli fluktuatsiyasi tufayli vujudga kelgan qarshilik. ρ_L panjara nuqsonlari tufayli vujudga kelgan qarshilik.

Temperatura $T \rightarrow 0$, $\rho_T \rightarrow 0$ va $\rho \rightarrow \rho_L$ teng bo'lib temperaturaga bog'liq emas va qoldiq qarshilik deb yuritiladi. 2.19-rasmda solishtirma qarshilikning temperaruraga bog'lanish grafigi ko'rsatilgan.



2.19-rasm

Yarim o'tkazgichlarda elektr o'tkazuvchanlikni yorug'lik ta'sirida ham amalga oshirish mumkin.

2.12. Metallarda elektr o'tkazuvchanlikning

Zonalar nazariyasi asoslari

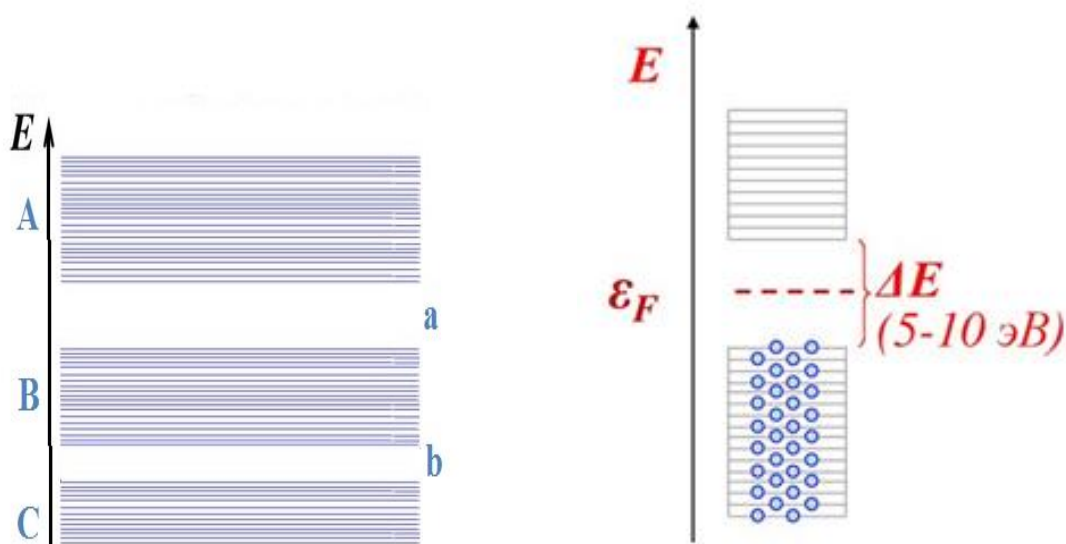
Kvant nazariyaga muvofiq, istalgan moddaning elektronlari klassik nazariyadagiday ixtiyoriy qiymatli energiyaga ega bo'lmay, balki atomdagidek kvantlashgan bo'ladi, ya'ni elektronlar energiyasi energetik sath deb ataluvchi faqat diskrit (chekli) qiymatlar qabul qiladi.

Atom musbat zaryadli yadro va uni atrofida ma'lum orbita bo'ylab harakatlanuvchi manfiy elektronlardan iborat zaryadlar sistemasidir. Atomdagi elektron qobiqni to'ldirilishida ma'lum tabiiy qonuniyat mavjud bo'lib, uni Pauli aniqlagan. Pauli prinsipiga ko'ra atomning har bir energetik holatida barcha kvant hossalari bir xil bo'lgan ikkita va undan ortiq elektron bo'lishi mumkin emas (2.20-rasm).

Demak, elektronlar energetik sathlarda antiparallel spinlari bilan juft-juft bo'lib, eng quyi sathdan boshlab joylashadilar.

Atomlar birikib, kristall panjara hosil qilishida elektronlar o'z atomlarining yadro maydonida joylashgan bo'lishi bilan birga panjara ionlarning davriy

o'zgaruvchan maydoni da joylashgan bo'ladi. Anashu maydon tufayli atom uchun bir xil bo'lgan energetik sathlar siljib ustma-ust tushmaydigan sathlar gruppasini tashkil etadi. Bu sathlar gruppasi zonalar deb ataladi. Bu zonalar energiyasi qiymatiga ko'ra, ruhsat etilgan zonalar va ta'qiqlovchi zonalarga ajratiladi. A, B, C-lar ruhsat etilgan zona, a, b- lar ta'qiqlovchi zonalardir (2.20-rasm).

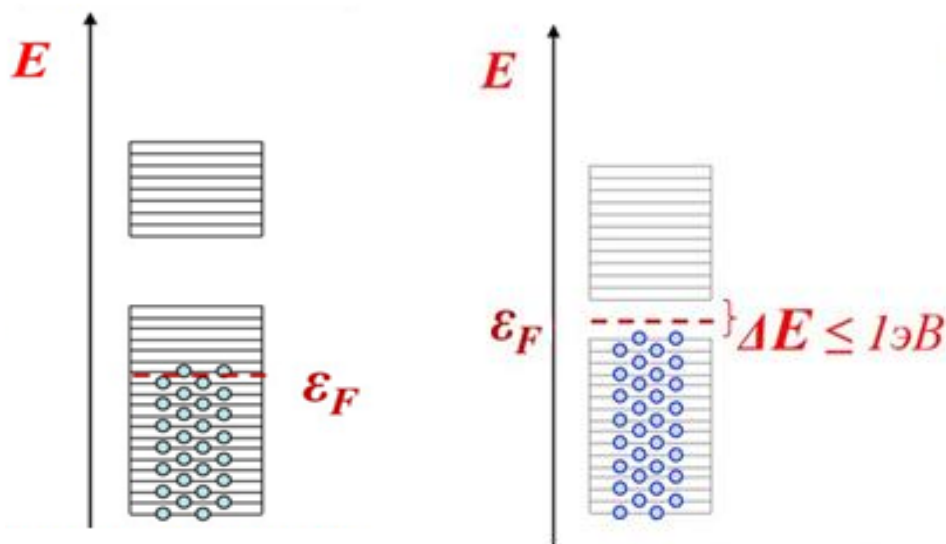


2.20-rasm

Absolyut nol temperaturada kristallning energiyasi eng minimal bo'lishi lozim. Shuning uchun elektronlar juft-juft bo'lib, spinlarni antiparallel holda, ruhsat etilgan zonaning pastki sathlarini to'ldiradi. Bu sathlar atomning valent elektronlari egallangan sathlardan hosil bo'lib, valent zona deb yuritiladi. Bundan yuqoridagi ruhsat etilgan zonalarda elektron bo'lmaydi, valent zonani elektron bilan to'ldirish darajasi va ta'qiqlovchi zona energetik kengligiga qarab, moddalarni elektr o'tkazuvchanlik jihatidan xarakterlash mumkin.

Agar valent zona elektronlar bilan to'ldirilgan bo'lib, undan yuqoridagi ruhsat etilgan zonadan $\Delta E \gg kT$ ta'qiqlovchi qatlam bilan ajratilgan bo'lsa, bunday moddalar izolyatorlar hisoblanadi (2.20-rasm).

Agar valent zona elektronlar bilan qisman to'ldirilgan bo'lsa (bu zonani elektronlar bilan to'ldirilmagan qismi o'tkazuvchanlik zonasi deyiladi). $\Delta E \ll kT$ elektronlar uncha kuchli bo'lmagan maydon kuchlari ta'sirida ko'chib, tok hosil qiladi. Bunday moddalar o'tkazgichlar deb ataladi (2.21-rasm).



2.21-rasm

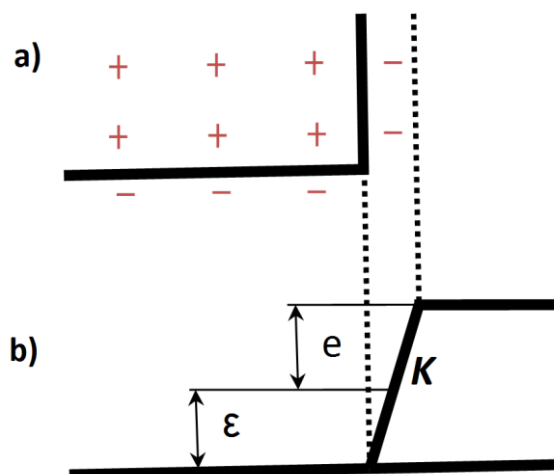
Shunday qilib, kvant nazariyasi moddalarning nafaqat elektr o'tkazuvchanligini tushuntiribgina qolmay, balki klassik nazariyadagi kamchiliklarni ham bartaraf etadi.

Elektronlarning Pauli prinsipiga ko'ra, energetik sathlarda taqsimlanishi ularni "muzlatib" qo'ygan bo'ladi. Yuqori energetik sathlarda elektronlar sonining kamligi tufayli ularning metallar solishtirma issiqlik sig'imiga qoshgan hissasi sezilmaydi, shuning uchun metallarning solishtirma issiqlik sig'imi dielektriklaridan farq qilmaydi.

Kontakt potentsiallar ayirmasi.

Metallar kristall panjara tuzilishiga ega bo'lib, elektronlar metall sirtida "bug'lanib" turadi. Natijada metall "qo'sh" elektr qobiq bilan o'ralgan bo'ladi.

Bu qo'sh elektr qobiq elektronlarni metall sirtidan chiqib, ketishiga yo'l qo'ymaydigan potensial to'siq (o'ra) vazifasini bajaradi. Absolyut nol temperaturada elektronlarning energiyasi nold W_F - fermi sathi oralig'i ($0 \div W_F$) da bo'ladi 2.22-rasmda energetik sathlar potensial o'raga mos ravishda tasvirlangan. Elektronlar o'radan chiqib ketishlari uchun eng kami bilan:



2.22-rasm

$$W_{\min} = W_{po} - W_F \quad (2.73)$$

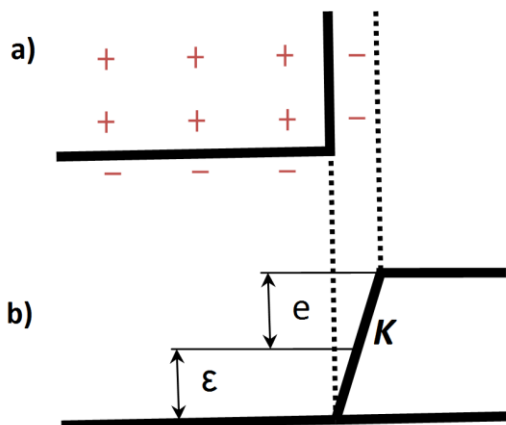
energiyaga ega bo'lishi lozim. Bu nominal energiya son jihatidan "qo'sh" elektr qobiq orqali zaryadni ko'chirishda bajarilgan ishga son jihatdan teng bo'lib, u chiqish ishi deb yuritiladi va quyidagicha ifodalanadi:

$$A_{ish} = e(\varphi_2 - \varphi_1); \quad \varphi_2 = 0 \quad A = e\varphi \quad \text{yoki} \quad A_{ish} = W_{po} - W_F \quad (2.74)$$

Volta (1797y) chiqish ishlari har xil bo'lgan metallarni ushbu tartibda (Al, Zn, Sn, Pb, Bi, Hg, Fe, Cu, Ag, Au, Pt, Pd) joylashtirilganda har bir element o'zidan keyingisiga nisbatan musbat zaryadlanishi natijasida qator uchlarida potenciallar ayirmasini vujudga keltirishini aniqladi va bu elementlar qatori - *Volta qatori* deb ataladi.

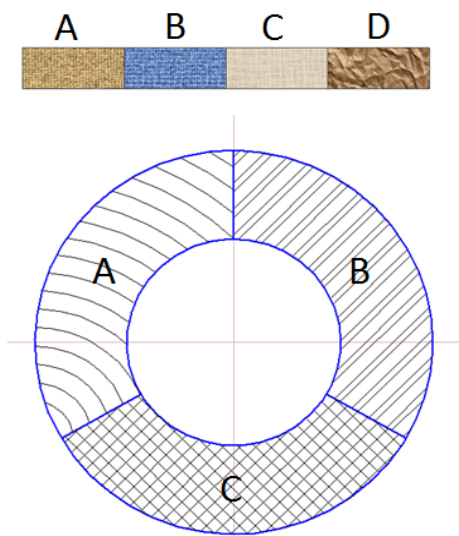
Agar zanjirda kontakt potentsiallar ayirmasi oraliq metallar tabiatiga emas, balki faqat chetki metallarning kimyoviy hossasiga bog'liqdir (2.22-rasm).

$$(\varphi_1 - \varphi_2 = \Delta\varphi \neq 0)$$



2.22-rasm

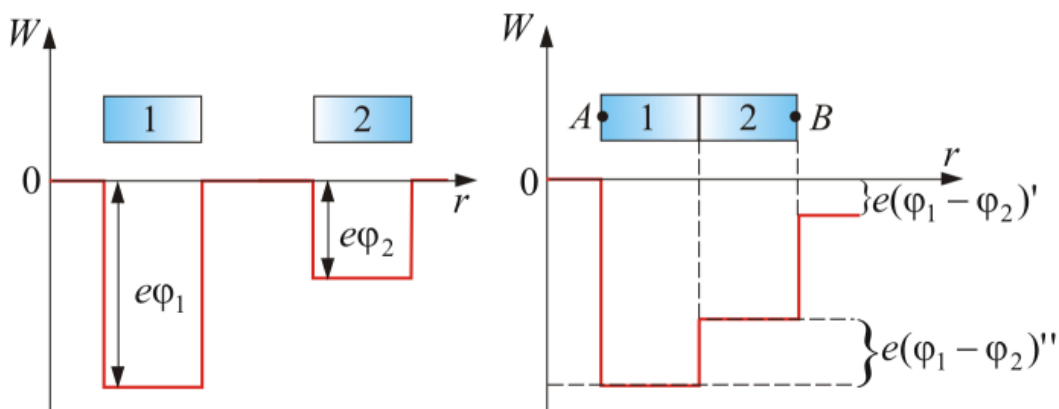
Agar zanjir berk bo'lsa, kontaktlardagi potensial sakrashlar algebraik yig'indisi nolga teng bo'ladi (2.23- rasm).



2.23-rasm

Bu xulosalar *Volta qonunlari* deb yuritiladi. Kontakt potentsiallar ayirmasi vujudga kelishi klassik elektron nazariya asosida sodda tushuntiriladi.

Chiqish ishlari har xil $A_2 > A_1$ bo'lgan bir xil temperaturali metallar kontakt qilinsa, elektron issiqlik harakati tufayli birinchisidan chiqishi natijasida birinchi metall musbat, ikkinchisi esa manfiy zaryadlanib qoladi. Zaryadlarning bunday ko'chirilishida bajarilgan ish chiqish ishlarining farqiga son jihatidan teng bo'lib, u quyidagicha ifodalanadi:



2.24-rasm

$$e(\phi_2^1 - \phi_1^1) = A_2 - A_1;$$

$$(\phi_1^1 - \phi_2^1) = -\frac{A_1 - A_2}{e} \quad (2.75)$$

Metallarda erkin elektronlar konsentrasiyasi har xil bo'lsa ham kontakt potentsiallar farqi vujudaga keladi (2.24-rasm). Nazariy ma'lumotlarga ko'ra, bu kontakt potentsiallar farqi quyidagicha aniqlanadi.

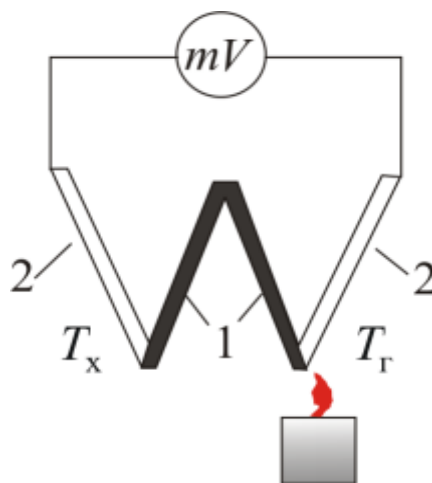
$$\phi_1^{11} - \phi_2^{11} = \frac{kT}{e} \ln \frac{n_1}{n_2} \quad (2.76)$$

Yuqorida ko'rsatilgan har ikki sabablarni birga hisobga olish natijasida kontakt potentsiallar ayirmasi umumiy holda:

$$\phi_1 - \phi_2 = -\frac{A_1 - A_2}{e} + \frac{kT}{e} \ln \frac{n_1}{n_2} \quad (2.77)$$

Zeebek (1821y) har xil jinsli metallardan tuzilgan berk zanjirda kontaktlar temperaturasi turlicha bo'lganda, tok vujudga kelishini aniqladi (2.25-rasm).

Ma'lumki, har qanday tok tashqi kuchlarning bajargan ishi ya'ni EYuK. hisobiga vujudga keladi. Qizdirish tufayli vujudga kelgan tok sababchisi issiqlik elektr yurituvchi kuchdir.



2.25-rasm.

Tajribalar ko'rsatishicha, issiqlik EYuK kontakt qilingan juft metallarning kimyoviy tabiati va kontaktlar temperaturasi farqiga bog'liq bo'lib, quyidagicha aniqlanadi:

$$\varepsilon = \alpha(T_2 - T_1) \quad (2.78)$$

Agar issiqlik EYuK kontakt potentsiallar ayirmasining yig'indisi deb hisoblansa, (2.77) ga asosan:

$$\varepsilon = \left(-\frac{A_1 - A_2}{e} + \frac{kT}{e} \ln \frac{n_1}{n_2} - \frac{A_2 - A_1}{e} + \frac{kT_2}{e} \ln \frac{n_1}{n_2} \right)$$

$$\varepsilon = \frac{k}{e} \ln \frac{n_1}{n_2} (T_2 - T_1) \quad (2.79)$$

(2.78) va (2.79) ifodalarni taqqoslab α uchun

$$\alpha = \frac{k}{e} \ln \frac{n_1}{n_2} \quad (2.80)$$

α - issiqlik EYuK ning koeffitsiyenti deb yuritiladi va berilgan juft metallar uchun o'zgarmas kattalik bo'lib, temperatura intervaliga qarab har xil juft metallar uchun turli xil qiymatga ega bo'ladi.

Masalan: rux-kumush (Zn - Ag) jufti uchun

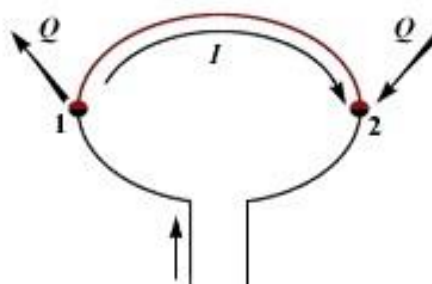
0C - 100 C oraliqda $\alpha=0.5\frac{\text{mkV}}{\text{grad}}$;

300 C - 400 C oraliqda $\alpha=4.6\text{mkV/grad}$.

Peltie (1843 y) turli metallardan tuzilgan berk zanjirdan tok o'tganda, tokning yo'nalishiga qarab, kontaktlarda issiqlik (Peltie issiqligi) ajralib chiqishini yoki yutilishini aniqladi. Peltie issiqligining Joule issiqligidan farqi shuki, u tok kuchining kvadratiga emas, balki birinchi darajasiga proporsionaldir.

$$Q_n = \Pi_{12}q = \Pi_{12}It \quad (2.81)$$

Metallar kontaktda potentsiallar ayirmasi yuzaga kelganligi sababli kuchlanganligi E -bo'lgan maydon hosil bo'ladi. B - kontaktda elektronning harakat yo'nalishi E -vektorga qarama-qarshi bo'lib, u to'plangan energiyasini to'qnashishlar tufayli panjaraga beradi, natijada issiqlik ajralib chiqadi. A-kontaktda esa elektron tormozlanishi tufayli panjara energiyasi sarflanadi, natijada kontakt soviydi (2.26-rasm).



2.26-rasm

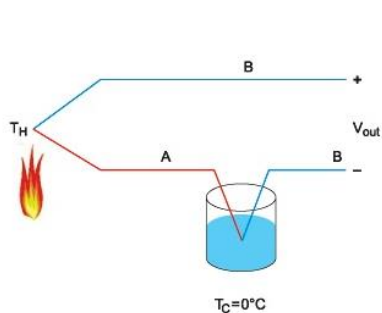
Agar tok yo'nalishi o'zgarsa, kontaktlarda issiqlik ajralishi yoki yutilishi ham mos ravishda o'zgaradi, ya'ni avval qizigan kontakt endi soviydi va aksincha. Termoelektr hodisalaridan turli maqsadlarda foydalaniladi, masalan termometrlar sifatida:

a) bunday termometrlarning sezgirligi ancha yuqori (10^{-3}) bo'lib, ularning ishlash chegarasi keng;

b) kam quvvatli ko'chma tok manbalari ($\eta=180\div 20\%$) sifatida foydalaniladi;

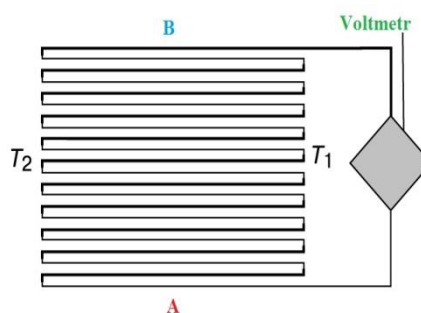
v) quyosh energiyasini bevosita elektr energiyasiga aylantiruvchi vosita sifatida ishlatiladi;

g) kompressorsiz sovutgichlar yoki isitgichlar sifatida foydalaniladi.



a)

termopara



b)

termobatariya

2.27-rasm

2.13. Vakumda elektr toki

Termoelektron emissiya

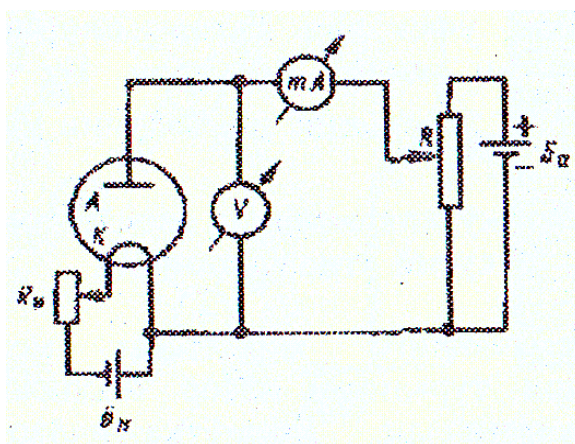
Metallar tarkibidagi elektronlarga chiqish ishini bajarish uchun starli bo'lgan biror turdagi energiya berilsa, u holda metallar sirtidan elektron ajralib chiqadi. Bu hodisa elektron emissiya deb ataladi. Energiyani qaysi tur energiya hisobidan va qanday usul bilan uzatishga qarab, elektron emissiya quyidagilarga bo'linadi:

1. Termoelektron emissiya.
2. Fotoelektron emissiya.
3. Ikkilamchi va avtoelektron emissiya.

Metallar sirtidan issiqlik ta'sirida elektronlarning ajralib chiqishi termoelektron emissiya deb yuritiladi. Ma'lumki, metallarda elektron gazi mavjud bo'lib, uy temperaturasida issiqlik harakati energiyasi chiqish ishidan kichik bo'ldi. $\frac{3}{2}kT < eU$

Agar metall temperaturasi $T \gg \frac{2eU}{3k}$ bo'lsa, termoelektron emissiya hodisasi kuzatiladi.

Termoelektron emissiya qonunlarini ikki elektron lampadan tuzilgan sodda zanjirda kuzatish mumkin (2.28-rasm).



2.28-rasm

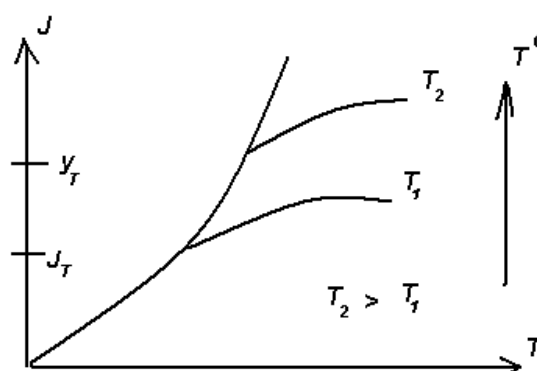
Tajribalar ko'rsatishicha, anod zanjiridagi tok kuchi kuchlanishining chiziqli bo'lmagan funksiyasi bo'lib, u Bogoslavskiy Lengmyurning $\frac{3}{2}$ qonuni deb yuritiladigan formulasi bo'yicha aniqlanadi.

$$I=AU^{\frac{3}{2}}$$

bu erda A- katodning materialiga bog'liq bo'lib, quyidagicha aniqlanadi.

$$A=\frac{4}{9} \epsilon_0 \frac{S}{d^2} \sqrt{\frac{2e}{m}} \quad (2.82)$$

Anod zanjiridagi tok kuchining kuchlanishga bog'liq holda o'zgarishi quyida tasvirlangan va u volt – amper xarakteristika (VAX) deb yuritiladi (2.29-rasm).



2.29-rasm

Anod toki katodning material va elektronning metall sirtidan chiqish ishiga bog'liq bo'lib, chiqish ishi kichik bo'lganda tok zichligi ortadi. Shuning uchun ham katod materialiga ishqoriy yer metallar oksidlari bilan ishlov beriladi. Bu esa 4chiqish ishini 1,5÷2 marta kamaytirib, lampaning ish vaqtini uzaytiradi.

2.14. Yarimo'tkazgichlarda elektr toki

Xususiy o'tkazuvchanlik

Elektr o'tkazuvchanligi jihatidan metallardan keyin, dielektriklardan oldin turadigan qator moddalar mavjudki, ular yarimo'tkazgich deb yuritiladi. Yarimo'tkazgichlarning solishtirma qarshiligi $\rho=10^{-5} \div 10^8$ Om-m atrofda bo'lib, ularga metall oksidlari, sulfidlar, galloidlar, davriy sistemaning ba'zi elementlari va ularning birikmalari kiradi (2.30-rasm).

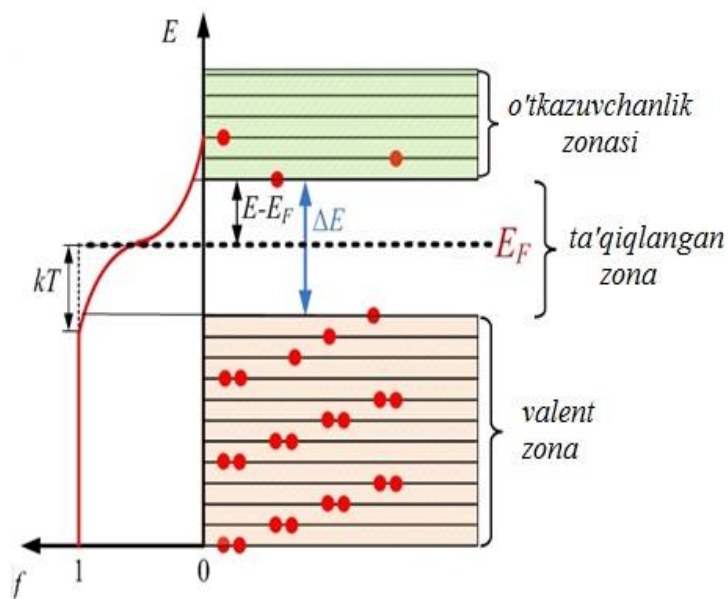
B бор	5	C углерод	6						
		Si кремний	14	P фосфор	15	S сер	16		
		Ti титан	22	V ванадий	23	Cr хром	24		
		Ge германий	32	As мышьяк	33	Se селен	34		
		Zr цирконий	40	Nb ниобий	41	Mo молибден	42		
		Sn олово	50	Sb сурьма	51	Te теллур	52	I йод	53

2.30-rasm

Yarimo'tkazgichliklarning elektr o'tkazuvchanligi zonalar nazariyasi asosida tushuntirish mumkin.

Moddalar elektr o'tkazuvchanligi zonalar nazariyasiga asosan, yarimo'tkazgichlar elektronlari energetik kengligi $\Delta W \approx kT$ bo'lgan ta'qiqlovchi qatlam bilan ajratilgan zonalarini tashkil etadi. Sof toza germaniy atomlari kovalent bog' hosil qilgan kristall panjara tuzilishiga ega bo'ladi. Absolyut nol temperaturada germaniy yaxshi izolyator hisoblanadi. Uning energetik zonlari Fermi-Dirak taqsimot funksiyasini hisobga olgan holda quyildagicha tasvirlanadi.

$$f(E) = \frac{1}{\exp\left(\frac{E - \mu}{kT}\right) + 1}$$



2.31-rasm

Elektronlarni valent zonadan olib, o'tkazuvchanlik zonasiga o'tqazish uchun ma'lum darajada energiya sarflash lozim. Bu energiya miqdor jihatidan ta'qiqlovchi qatlam energiyasiga teng bo'lib, aktivlashtirish energiyasi deb yuritiladi. Agar elektronlarga aktivlashtirish energiyasi berilsa (ionlovchi agent, γ -nur...) valent zonadan elektronlar o'tkazuvchanlik zonasiga o'tib, erkin elektronlarga aylanadi. Shu tufayli valent zonada manfiy zaryad yetishmaydigan, musbat zaryadga ekvivalent bo'lgan joy "teshik" hosil bo'ladi. Demak, yarimo'tkazgichlarda zaryad tashuvchilar vujudga keladi. Yarimo'tkazgich elektr maydonida bo'lsa o'tkazuvchanlik zonasida elektron, valent zonada esa teshiklar tartibli ko'chib, tok hosil qiladi. Bu xususiy o'tkazuvchanlik deb yuritiladi.

Xususiy o'tkazuvchanlik tok zichligi elektronli va teshikli o'tkazuvchanlik toklari zichliklarning yig'indisi deb hisoblab:

$$\hat{j} = \hat{j}_{el} + \hat{j}_T \quad (2.83)$$

Agar hajm birligidagi erkin elektronlar va teshiklar soni teng bo'lib, $n_e = n_T = n_0$ va tezliklari mos holda « u » -deb belgilansa, tok zichligi uchun quyidagini yoza olamiz:

$$j_e = en_0 \langle\langle u_0 \rangle\rangle, \quad j_T = en_0 \langle\langle u_T \rangle\rangle \quad (2.84)$$

Harakatchanlik tushunchasidan foydalanib, to'la tok zichligi uchun:

$$j_e = en_0(u_e + u_T)E \quad (2.84)$$

(2.84) yarimo'tkazgichlar uchun Om qonuning differensial ko'rinishidir. (2.84) –dagi:

$$\sigma = en_0(u_e + u_T) \quad (2.85)$$

σ -yarimo'tkazgichlarning elektr o'tkazuvchanligi deb yuritiladi. n_0 -hajm birligidagi zaryad tashuvchilarning soni.

Uy temperaturasida $\Delta W \gg kT$ elektronlar va teshiklarning zonalarda taqsimlanishi Fermi-Dirak qonuniga bo'ysunadi. Shu tufayli n_0 -ni aniqlashda Fermi-Dirak qonuni hisobga olinadi,

$$n_0 = \left(\frac{2}{h^3}\right) (2\pi mkT)^{3/2} e^{-(\Delta W - W_F)/kT}$$

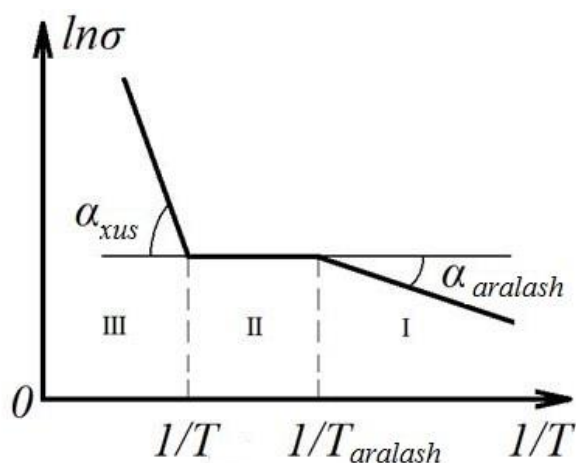
Bu yerda, W_F –Fermi sathi

$$E_F = \frac{\Delta W}{2} + \frac{3kT}{4} \ln \frac{m_1}{m_2} \quad (2.86)$$

Yuqoridagilarni hisobga olib, yarimo'tkazgichlarning elektr o'tkazuvchanligini quyidagicha ham ifodalash mumkin.

$$\sigma = \sigma_0 e^{-\Delta W/2kT} \quad (2.87)$$

(2.87)–dan koʻrinadiki, yarimoʻtkazgichlarining elektr oʻtkazuvchanligi temperatura ortishi bilan eksponensial qonun boʻyicha ortib boradi (2.32-rasm). Bu esa yarimoʻtkazgichlarning metallardan tuban farq qilinishi yaqqol koʻrsatadi.

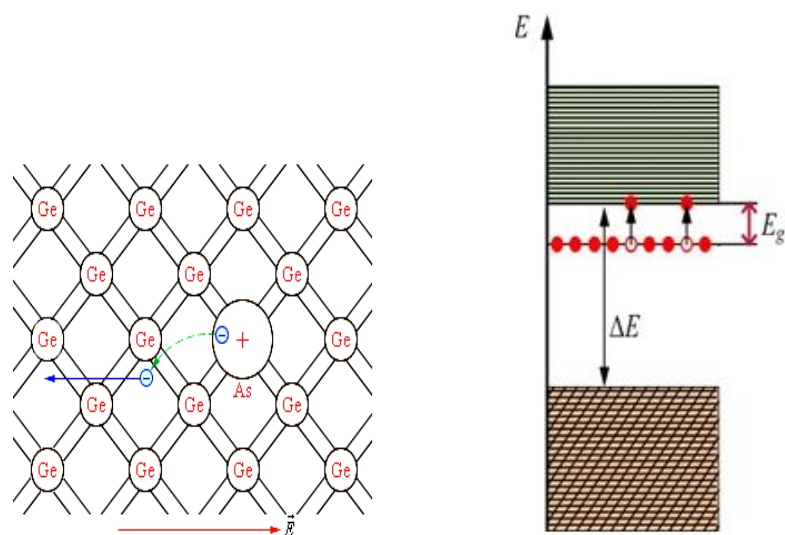


2.32-rasm

2.15. Aralashmali oʻtkazuvchanlik

Yarimoʻtkazgichlarning elektr oʻtkazuvchanligi moddaning tozaligi va sirtining aktivligiga bogʻliq boʻladi.

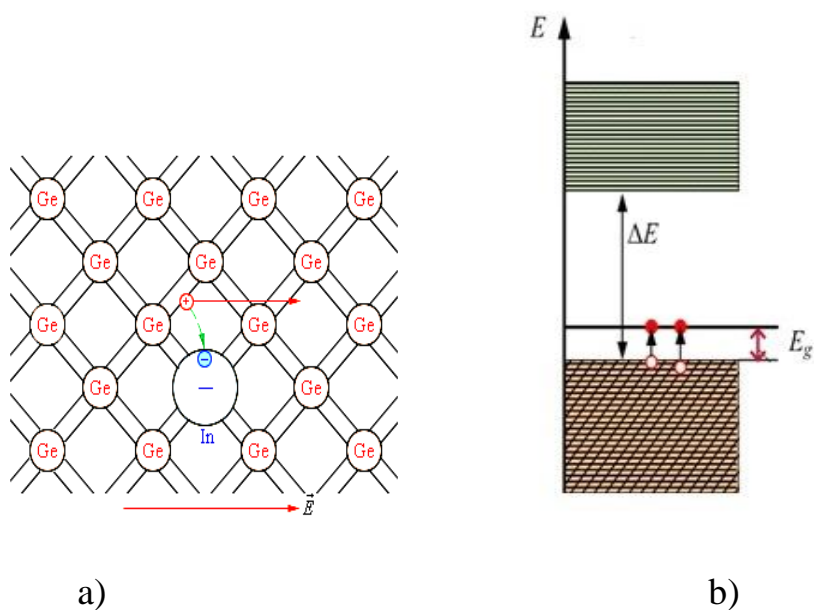
Odatdagi sharoitda sof toza chala oʻtkazgichlarda elektronlar konsentrasiyasi kamligi tufayli xususiy oʻtkazuvchanlik toki uncha katta boʻlmaydi, binobarin har bir kub santimetrda 10^{23} ta atom boʻlib, har 10^9 tadan bittasi erkin elektron hosil qiladi. Agar yarimoʻtkazgichga boshqa modda atomlari oz miqdor (0,001%) da aralashтира, elektr oʻtkazuvchanlik bir necha bor ming marta ortadi. Agar toʻrt valentli germaniy (Ge) ga besh valentli mishyak (As) yoki surma (Sb) kiritilsa, aralashmaning har bir atomida kovalent bogʻ buzilmagan holda, bittadan erkin elektron hosil boʻladi. Aralashma atomi kristall panjaraning qayerida joylashishidan qatʼiy nazar, taʼqiqlovchi qatlam yuqorisida qoʻshimcha donor sath hosil qiladi (2.33-rasm).



2.33-rasm

Donor sath elektronlari o'tkazuvchanlik zonasiga ko'chib, yarimo'tkazgichlarda elektron o'tkazuvchanlik tokini hosil qiladi. Bunday aralashmali yarimo'tkazgichlar donor (n-tip) yarimo'tkazgichlar deb yuritiladi.

Agar to'rt valentli germaniy (Ge) ga uch valentli indiy (In) kiritilsa, har bir aralashma atomida kovalent bog' hosil qilish uchun bittadan elektron yetishmagan musbat zaryadga ekvivalent bo'lgan teshik joy hosil qiladi.



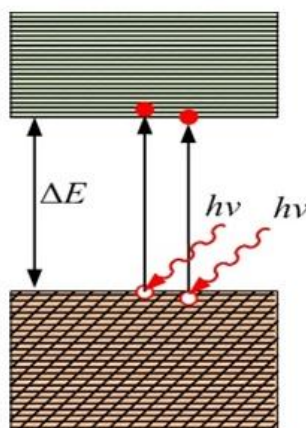
2.34-rasm

Natijada, ta'qiqlovchi zona quyisida qo'shimcha energetik akseptor sath vujudga keladi (2.35-rasm). Elektronlarning valent zonadan akseptor zonaga o'tishi, tok hosil qiluvchi teshiklarni vujudga keltiradi. Bunday yarimo'tkazgichlar akseptor (p-tip) yarimo'tkazgichlar deb yuritiladi. Yarim o'tkazgichlarda elektr o'tkazuvchanlikni yorug'lik ta'sirida ham amalga oshirish mumkin.

Yarim o'tkazgichlarni elektr o'tkazuvchanligiga yorug'likning ta'siri

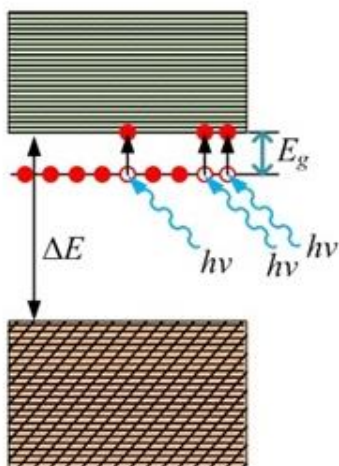
Foto elektr o'tkazuvchanlik

2.35-rasmda o'tkazuvchanlik elektronlarini va kovaklar (teshik)ni hosil bo'lish sxemasi ko'rsatilgan. Energiyasi $\frac{\Delta E_0}{kt}$ bo'lgan fotonlar elektronlarni valent zonadan o'tkazuvchanlik zonasiga o'tkazib yarim o'tkazgichlarda zaryad tashuvchi elektron va kovaklarni hosil qiladi.



2.35-rasm

Aralashmali yarim o'tkazgichlarda $h\nu \geq \Delta E_{11}$ bo'lishi lozim ΔE_{11} -atomlarning aktivatsiya energiyasi deyiladi. Donor yarim o'tkazgichlarga foton elektronlarni donor sathdan o'tkazuvchanlik zonasiga, akseptorlarda esa valent zonadan akseptor sathga tashiydi(o'tkazadi). Natijada qo'shimcha o'tkazuvchanlik – foto o'tkazuvchanlik vujudga keladi.



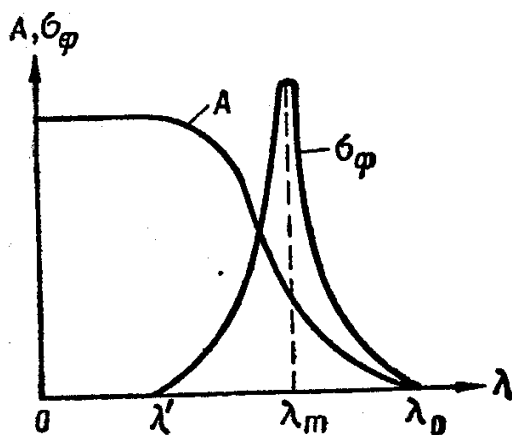
2.36-rasm

Yuqoridagi shartimizdan fotoelektr o'tkazuvchanlikni minimal chastotasi ν_0 ni yoki fotoefektni qizil chegarasini aniqlash mumkin.

$$\lambda_{\Delta} = \frac{ch}{\Delta E_0} - \text{toza yarim o'tkazgichlar uchun}$$

$$\lambda_0 = \frac{ch}{\Delta E_{11}} - \text{aralashmali yarim o'tkazgichlar uchun.}$$

Fotoelektr o'tkazuvchanliklar spektrning tor sohasida kuzatiladi. Quyidagi rasmda fotoelektr o'tkazuvchanlik va yutilish koeffitsientini grafigi ko'rsatilgan.



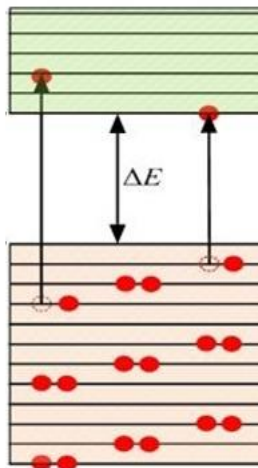
3.37-rasm

To'liq uzunligi $\lambda > \lambda_0$ bo'lgan yorug'lik uchun.

$\Delta E = \frac{ch}{\lambda_q} > h\nu$ elektronlarni chiqarish uchun yetarli emas. To'liq uzunligi

$\lambda < \lambda_0$ bo'lgan yorug'lik fotonlari esa noaktiv bo'lib foto o'tkazuvchanlikni vujudga keltirmaydi. Yorug'likni bunday noaktiv yutilishi atomlarni o'ziga xos g'alayonlanishi mexanizmi borligidan darak beradi.

Bu vazifani Frenklen eksitonlarni vujudga kelish bilan izohlab berdi. Foton energiyasini yutgan elektronlar o'z kovaklari bilan bog'larni uzmasa bir butunlikni (yaxlit) saqlab qolib eksitonlar hosil qiladi. Eksitonlar diskrit energetik sathlarga ega bo'ladi va u o'tkazuvchanlikni zonasini tubida joylashgan bo'ladi.

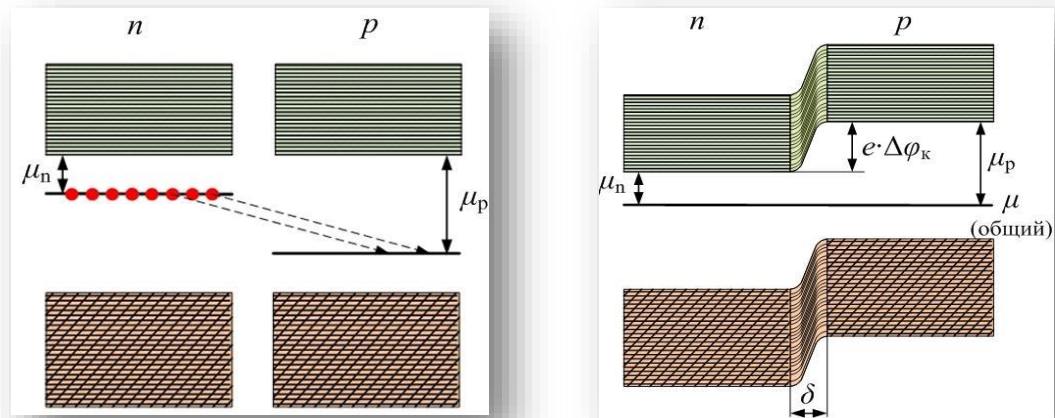


2.38-rasm

Eksitonlar aktiv yutishda vujudga kelib fotonlar yoki panjarani boshqa nuqsonlari bilan to'qnashib rekombinatsiyalashuvi yoki bog'larni uzib o'tkazuvchanlik zonasiga o'tishi mumkin. Birinchi holda g'alayonlashgan atomlar energiyasi yutildi panjaraga uzatilib uni qizdiradi (ichki energiyasiga aylanadi) yoki nurlanish kvantlarini hosil qiladi. (Lyuministsiyasi). Ikkinchi holatda elektron –kovak zaryad tashuvlarni vujudga keltiradi va foto o'tkazuvchanlik hosil qiladi. Yarim o'tkazgichlarni elektr o'tkazuvchanligini, yoritilganlikka bog'liq bo'lib ulardan fotoqarshilik sifatida foydalaniladi. Hozirgi zamon fotoqarshiliklarini sezgirli vakuum fotoelementlarinikiga qaraganda 10^5 - 10^6 marta yuqori.

Yarim o'tkazgichlarda Fermi sathi

Sof toza yarim o'tkazgichlarning energetik sxemasi rasmda keltirilgan.



2.39-rasm

Absolyut temperaturada quyi I-zona, II-zona elektronlar hosil bo'ladi o'tkazuvchanlik zonasini tashkil etib jism izolyator hisoblanadi. Temperaturasi ortishi bilan elektronlar qo'zg'alib I dan II ga o'tish o'tkazuvchan elektronlar (n) 1-zonada esa kovaklar (p) hosil qiladi. $n = p$ bo'lganda o'tkazuvchanlik zonasi tubida elektron kinetik energiyasi nolga teng deb hisoblab vE ga teng ($EvaE + \partial E$) bo'lgan energetik (tirqish) kenglik ajratamiz. Bu kenglikdagi elektronlar Fermi-Dirak taqsimotiga bo'y so'nadi va quyidagicha aniqlanadi.

$$dn = \frac{4\pi(2m_n)^{\frac{3}{2}}}{h^3} f_{\phi} E^{\frac{1}{2}} dE$$

m_n elektronni effektiv massasi dn energiyasi dE yoki $E + dE$ sohadagi elektronlar soni Fermi-Dirak funksiyasi bo'lib:

$$f_f = \frac{1}{e^{\frac{E-\mu}{kT}+1}}$$

O'tkazuvchanlik zonasidagi kvant holatlar soni I-II o'tgan elektrklar sonidan ortiq bo'lib $f_0 \gg 1$ shartni bajaradi. Buning uchun

$$e^{\frac{E-\mu}{kT}} \gg 1$$

yoki

$$e^{\frac{E-\mu}{kT}} \gg 0$$

bo'lish lozim. O'tkazuvchanlik tubidagi elektronlar uchun $E=0$ shu tufayli oxirgi tengsizlikni taqriban

$$-\frac{\mu}{kT} \gg 0$$

bilan almashtirsa bo'ladi. Bundan Fermi sathi o'tkazuvchanlik zonasi tubidan pastda joylashganligi kelib chiqadi. Fermi-Dirak funksiyasi

$$f_0 = e^{\frac{-(E-\mu)}{kT}}$$

ko'rinishni oladi. Buni integrallab quyidagini hosil qilamiz.

$$n = 4\pi \left(\frac{2m_p}{h^3}\right)^{\frac{3}{2}} \int_0^{\infty} e^{\frac{-(E-\mu)}{kT}} E^{\frac{1}{2}} \sigma E$$

Xuddi shunday hisoblashlar kovaklar uchun

$$p = 2 \frac{(2m_p \pi kT)^{\frac{3}{2}}}{h^3} e^{\frac{\mu^1}{kT}}$$

natijaga olib keladi. m_p teshik (kovak) ni effektiv massasi. μ^1 -valent zonadan Fermi sathigacha bo'lgan masofa

$$\mu + \mu^1 = -\Delta E_0; \mu^1 = -\Delta E - \mu$$

Kovaklar va elektronlar sonini tengligini hisobga olib

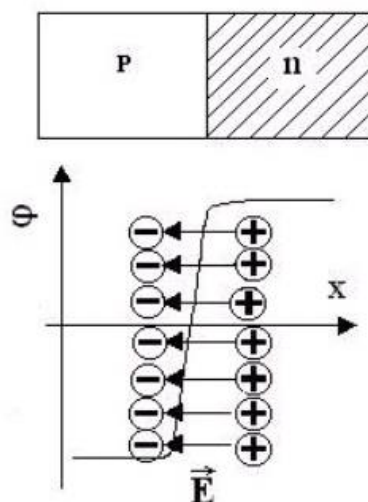
$$\mu = -\frac{\Delta E_0}{2} + \frac{3}{4} kT \ln \frac{m_p}{m_n}$$

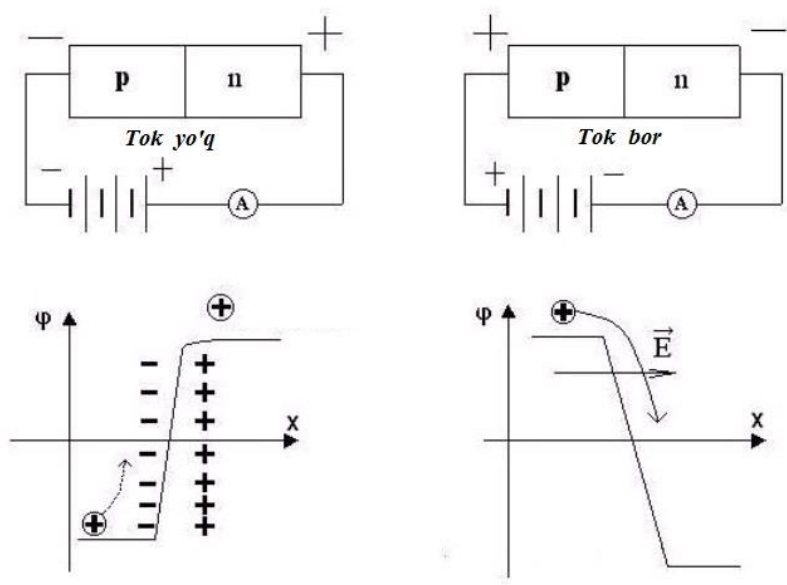
Bundan $m_p = m_n$ bo'lganda ya'ni elektron va kovaklarni effektiv massalari teng bo'lganda Fermi sathi ta'qiqlovchi zonaning o'rtasida joylashgan bo'lishini ko'rsatadi

$$\mu = -\frac{\Delta E_0}{2}$$

Hozirgi zamon elektronikasida yarimo'tkazgichlarning kontakti muhim ahamiyatga ega bo'lib, ulardan biri p-n o'tish bo'lib hisoblanadi. Bunday kontaktlar nafaqat o'zgaruvchan toklarni o'zgarimas tokka aylantiruvchi diod, balki yuqori chastotali tok ishlab chiqaruvchi generator sifatida va boshqa har xil maqsadlar uchun ham ishlatiladi.

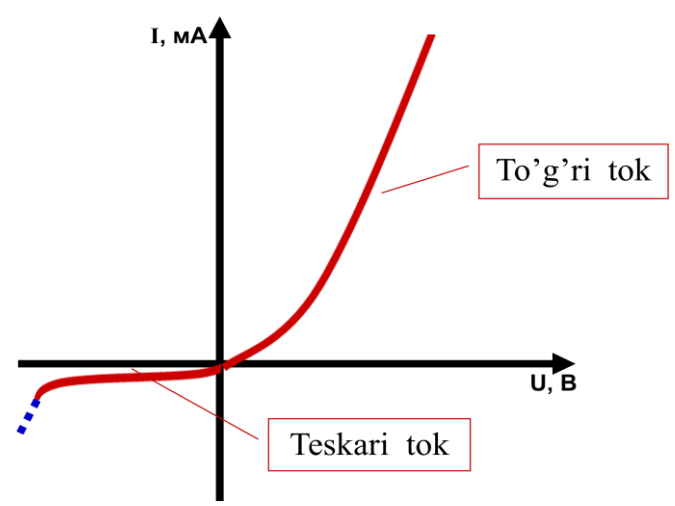
Yarimo'tkazgichlarning p-n kontaktida elektron almashish tufayli ichki potensial tushuvchi vujudga keladi. (59-rasm)





2.40-rasm

Agar n-tip yarimo'tkazgich batareyaning musbat, p-tip esa manfiy qutbiga ulansa, potensial to'siq ortib, kontakt orqali tok o'tmaydi. Bu teskari ulanish deb ataladi. Agar p-tip musbat qutbga, n-tip manfiy qutbga ulansa, kontakt orqali tok yaxshi o'tadi. Bu to'g'ri ulanish deb yuritiladi. Yarimo'tkazgichlardagi tok kuchining kuchlanishga bog'liq holda o'zgarishi VAX –deyiladi. (2.41-rasm)



2.41-rasm

Bilimning mustaqil nazorati uchun testlar to'plami.

1. Elektr toki deb nimaga aytiladi?

- A. Zaryadlangan zarralarning elektr maydondagi tartibli xarakatiga.
- B. Zaryadlangan zarralarning tebranma xarakatiga.
- C. Manfiy zaryadlangan zarralarning elektr maydon kuchlanganligi yo'nalishidagi tartibli xarakatiga
- D. Elektronlarning xarakatiga

2. Tok kuchining to'g'ri ta'rifini ko'rsating?

- A. O'tkazgich ko'ndalang kesimidagi potentsialni o'zgarishiga.
- B. Kuchlanishni qarshilikka nisbatiga
- C. Vaqt bo'yicha o'zgarmas elektr tokiga
- D. O'tkazgich ko'ndalang kesimi yuzasidan vaqt birligida o'tuvchi zaryad miqdoriga teng bo'lgan kattalikka

3. O'tkazgich qarshiligi qanday fizik kattaliklarga bog'lik?

- A. O'tkazgich shakli, o'lchami va materialiga.
- B. Tok kuchiga.
- C. Kuchlanishga.
- D. Zanjirning E.I.O.K ga.

4. Berk zanjir uchun Om qonunini integral ko'rinishini ko'rsating?

A. $I = \frac{U}{R}$ B. $I = \frac{\varepsilon}{R + r}$ C. $j = \sigma E$ D. $j = \sigma(E + E_{cm})$

5. Bir jinsli zanjir uchun Om qonunini differentsial ko'rinishini ko'rsating:

A. $\bar{j} = G\bar{E}$ B. $\bar{j} = \rho\bar{E}$ C. $\bar{j} = \frac{1}{G}\bar{E}$ D. $\bar{j} = \rho^2\bar{E}$

6. Kirxgofning birinchi qoidasini ta'rifini ko'rsating:

- A. Elektr tugunidagi tok kuchlarining algebraik yig'indisi nolga teng
- B. Konturdagi toklarning yig'indisi nolga teng
- C. Elektr tugunida kirayotgan tok kuchlarining yig'indisi nolga teng
- D. Elektr tugunidan chiqayotgan tok kuchlarining yig'indisi nolga teng.

7. Tok kuchi qanday yo'nalgan?

- A. Elektr maydondagi musbat zaryadlarning tartibli xarakat yo'nalishi bo'yicha.

- B. Elektr maydondagi manfiy zaryadlarning tartibli xarakat yo'nalishi bo'yicha .
 C. Elektr maydondagi erkin elektronlarning xarakat yo'nalishi bo'yicha .
 D. Elektr maydondagi erkin elektronlarning tartibsiz xarakat yo'nalishi bo'yicha

8. Metallardagi tok, bu ...

- A. elektronlarning xaotik o'arakati;
 B. protonlarni yo'naltirilgan o'arakati;
 C. ionlarning xaotik o'arakati;
 D. elektronlarni tartiblangan o'arakati.

9. Metallar elektr o'tkazuvchanligining klassik nazariyasiga ko'ra qarshilik quyidagi hodisalar tufayli yuzaga keladi.

- A. ionlarni ionlar bilan to'qnashuvi;
 B. elektronlarni panjaradan ionlar bilan to'qnashuvi;
 C. o'tkazgich devori bilan to'qnashuvi;
 D. barcha javoblar to'g'ri.

10. Zanjirning bir jinsli bo'lmagan qismidagi kuchlanish tushishini qaysi formuladan aniqlash mumkin

- A. $IR = \varepsilon_{12} - U_{12}$ B. $IR = \varepsilon_{12} - Ir$ C. $IR = \varepsilon_{12} - IR$ D. $U = IR$

11. Mustaqil gaz razryadi deb nimaga aytiladi?

- A. elektr maydon tasirida ionlashgan gazlardagi elektr tokga.
 B. Tashqi ta'sirlar natijasida gazda ionlarning o'osil bo'liishga.
 C. Ikkita gaz molekulasi o'zaro to'qnashib, ichki energiyasining o'zgarishiga.
 D. Musbat va manfiy ionlarning o'zaro birikishiga.

12. Ionizatsiya jarayoni deb nimaga aytiladi?

- A. Kuchlanish o'zgarganda gazda tok kuchini o'zgarishiga.
 B. Tashqi ta'sirlar natijasida gazda ionlarning o'osil bo'liishga.
 C. Ikkita gaz molekulasining o'zaro to'qnashib, ichki energiyasining o'zgarishiga.
 D. Musbat va manfiy ionlarning o'zaro birikishiga.

13. Ketma –ket ulangan. $R_1 = 5 \text{ Om}$, $R_2 = 10 \text{ Om}$, qarshiliklardan 5A, tok o'tmoqda, manbaning E.Yu.K. toping? (ichki qarshilik $r = 0$)

- A. 75V B. 30V C. 80V D. 10V

14. Om qonunining differentsial ifodasini ko'rsating

- A. $j = \frac{E}{\rho}$ B. $\omega = \frac{E^2}{\rho}$ C. $j = nq_0 \langle v \rangle$ D. $j = \frac{E}{\sigma}$

15. Elektr toki quvvati ifodasini ko'rsating.

- A. $N = I^2 R$ B. $N = \frac{A}{t}$ C. $N = \frac{I^2}{R}$ D. $N = IR$

16. Joul–Lents qonunining differentsial ifodasi?

A. $\omega = \frac{E^2}{\rho}$ B. $j = \frac{\varepsilon}{S}$ C. $j = nq_0 \langle v \rangle$ D. $j = \sigma E$

17. Quyidagi ko'rsatilgan formulalardan qaysi biri Joule-Lentz formulasini ifodalaydi?

A. $Q = I^2 R \Delta t$ B. $C = \frac{q}{U}$ C. $A = q(\varphi_1 - \varphi_2)$ D. $U = \frac{A}{q}$

18. O'tkazgich qarshiligi temperaturaga qanday bog'liq?

A. $R = R_0(1 - \alpha t)$ B. $R = R_0(1 + \alpha t)$
 C. $R = R_0(1 - \alpha t)^2$ D. $R = R_0(1 + \alpha t)^2$

19. Xususiy yarim o'tkazgichlar deb, ...

- A. Faqat elektron o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan ,
- B. Faqat kovakli o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan
- C. Elektron va kovakli o'tkazuvchanlikka ega ,lekin kovaklarning konsentratsiyasi katta bo'lgan ,
- D. Elektron va kovaklarning konsentratsiyasi teng bo'lgan toza yarim o'tkazgichlarga aytiladi

20. Aralashmali yarim o'tkazgichlarda donor va aktseptorlar sathi nima?

- A. Donor sathi o'tkazuvchanlik va aktseptorlar sathi valent zonada joylashgan sathlar.
- B. Donor sathi valent va aktseptorlar sathi o'tkazuvchanlik zonada joylashgan sathlar.
- C. Donorlar sathi o'tkazuvchanlik zonasiga elektron va aktseptorlar sathi valent zonadan elektron qabul qiluvchi sathlar.
- D. Man etilgan zonani o'rtasiga joylashgan sath donorlar va aktseptorlar sathHi deyiladi.

21.. Tok kuchini uning zichligi orqali ifodalang.

A. $I = \frac{dq}{dt}$ S. $I = A U^{3/2}$ E. $I = \frac{\varepsilon + (\varphi_1 - \varphi_2)}{R^*}$

B. $I = \oint_N \mathbf{j} ds$ D. $I = qnu$

22. EYUK – ning tashqi kuchlar maydoni kuchlanganligi orqali ifodasini ko'rsating?

A. $\varepsilon = \frac{A}{q}$ C. $\varepsilon = \oint_L \mathbf{E}_e^* dl$ B. $\varepsilon = q \oint_L \mathbf{E}_e^* dl$
 D. $\varepsilon = I(R+r)$ E. $\varepsilon = \alpha(T_2 - T_1)$

23. Elektr o'tkazuvchanlikning elektron nazariyasiga ko'ra ifodasini ko'rsating.

$$A. \sigma = \frac{ne^2}{2kT} \quad C. \sigma = \frac{ne^2}{2mv} \pi \quad E. \sigma = \sigma_0 \ln e^{-\Delta W/kT}$$

$$B. \sigma = nze(b_+ + b_-) \quad D. j = \sqrt{\frac{\alpha}{\beta}} e(b_+ + b_-)$$

24. Qisqa to'lashuv nima?

A. Tok kuchini kuchlanishga bog'liq holda eng katta qiymatga erishuvchi;

B. Tok kuchining o'tkazgich uzunligiga bog'liq holda o'rganishi;

C. Tok kuchinig qarshilikka bog'liq holda eng katta qiymatga erishuvchi;

D. Kuchanishning tok kuchiga bog'liq holda eng katta qiymatga erishuvchi;

E. A va B.

25. Gaz zaryadi uchun Om qonuning defferensial ifodasini ko'rsating.

$$A. j = \sqrt{\frac{\alpha}{\beta}} (b_+ + b_-) E \quad C. I = \oint \mathbf{j} ds \quad E. j = \sigma E^2$$

$$B. j = nze(b_+ + b_-) E \quad D. j = \sigma E$$

26. Gazlarda elektr o'tkazuvchanlik ifodasini ko'rsating.

$$A. \sigma = \frac{ne^2}{2kT} \quad C. \sigma = \frac{ne^2}{2mv} \pi \quad E. \sigma_0 \ln e^{-\Delta W/kT}$$

$$B. j = nze(b_+ + b_-) \quad D. j = \sqrt{\frac{\alpha}{\beta}} (b_+ + b_-) E$$

27. Videman –Frans qonuning to'g'ri ifodasini ko'rsating.

$$A. \frac{\chi}{\sigma} = 3 \left(\frac{k}{e}\right)^2 T \quad C. \frac{\chi}{\sigma} = 2 \left(\frac{k}{e}\right)^2 T \quad E. \frac{\chi}{\sigma} = \frac{3kT}{2m}$$

$$B. \frac{\chi}{\sigma} = \frac{2mT}{3k} \quad D. \frac{\chi}{\sigma} = C, T$$

28. Elektrolitlarda elektr toki uchun Om qonuning ifodasini ko'rsating.

A. $\sigma = \frac{ne^2}{2kT}$ B. $\sigma = nze(b_+ + b_-)$ C. $\sigma = \frac{ne^2}{2mv} \pi$

E. $\sigma = \delta_0 \ln e^{-\Delta W/kT}$ D. $\sigma = \sqrt{\frac{\alpha}{\beta}}(b_+ + b_-)E$

29. O'tkazgichlarning solishtirma qarshiligi ifodasini ko'rsating.

A. $\rho = \frac{1}{\gamma}$ C. $\sigma = \frac{1}{\rho}$ E. $R = \rho \frac{l}{S}$
 B. $j = \frac{1}{\rho} E$ D. $j = \frac{1}{E} \rho$

30. Videman –Frans qonuniga berilgan to'g'ri tarifni toping.

A. o'zgarmas haroratda barcha metallar issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentining mos ravishda solishtirma elektr qarshilik koeffitsiyentiga nisbati o'zgarmas kattalikdir.

B. o'zgarmas zaroratda barcha metallar issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentining mos ravishda solishtirma elektr qarshilik koeffitsiyentiga nisbati proporsional o'zgarib turadi.

S. o'zgaruvchan haroratda barcha metallar issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentiga mos ravishda solishtirma elektr qarshilik koeffitsiyentiga nisbati o'zgarmas kattalikdir.

D. o'zgaruvchan haroratda barcha metallar issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentining mos ravishda solishtirma elektr qarshilik koeffitsiyentiga nisbati 1 ga tengdir.

E. S va D.

31. Ketma –ket ulashda zanjirning barcha qismlaridan o'tayotgan tok kuchi ifodasi...

A. $I_2 = I_2 \dots I_n = I$ C. $I_1 \neq I_2 = I_n \dots \neq I$

$$B. \frac{I_1}{I_2} = \frac{I_n}{I_1}$$

$$D. I_1 = I_2 \neq I_3 = I_4$$

$$E. \sum I_1 = 0$$

32. Tok manbaining F.I.K uchun qaysi ifoda o'rinli?

$$A. \eta = \frac{R}{R+r}$$

$$C. \eta = \frac{R+r}{R}$$

$$E. \eta = \frac{R-r}{R}$$

$$B. \eta = \frac{R+r}{R-r}$$

$$D. \eta = \frac{R-r}{R+r}$$

33. Elektrolitik dissosiasiyasi nima?

A. neytral molekullarning ionlarga ajralish hodisasi;

B. neytral molekullarning bir-biriga birikish hodisasi;

C. elektrolitdan o'tayotgan tok kuchining elektr maydon kuchlanganligiga bog'liqligi;

D. elektrolitdan tok o'tganda, elektr maydondagi ionlarning harakatchanligi;

E. elektrolitda erigan moddalar.

34. Moddaning elektrokimyoviy ekvivalenti ...

A. elektrodning shakli, tokning kuchi, harorati va bosimiga bog'liq bo'lmasdan turli moddalar uchun turli qiymatga ega.

B. tok kuchi harorati va bosimga bog'liq kattalik.

C. elektrodning shakliga bog'liq bo'lmay, bosim va haroratga bog'liq kattalik.

D. o'zgarmas kattalik bo'lib $1,37 \cdot 10^8$ ga teng

E. elektrodning shakli, tok kuchi, harorati va bosimga bog'liq kattalikdir.

35. Peltze effekti deb qanday hodisaga aytiladi?

A. tok o'tayotgan kontaktda tokning yo'nalishiga bog'liq holda issiqlik ajralishi yoki yutilishiga.

B. tok o'tayotganda kontaktda faqat issiqlik ajralishiga.

C. tok o'tayotgan kontaktda faqat issiqlik ajralishiga.

D. tok yo'nalishiga bog'liq bo'lmagan holda, kontaktda issiqlik ajralishi va yutilishiga.

E. tok yo'nalishiga bog'liq bo'lmagan holda, kontaktda issiqlik yutilib, energiya ajralishiga.

36. Peltje hodisasi va Joule – Lenz issiqligi orasidagi farqni ko'rsating.

A. Joule-Lenz issiqligi tok kuchi kvadratiga proporsional va tokning yo'nalishiga bog'liq emas.

B. Peltje issiqligi tok kuchining birinchi darajasiga proporsional va tokning yo'nalishi o'zgarganida o'z ishorasini o'zgartiradi.

C. Peltje issiqligi tok kuchi kvadratiga proporsional va tokning yo'nalishiga bog'liq.

D. Joule-Lenz issiqligi tok kuchining birinchi darajasiga bog'liq.

E. Joule-Lenz issiqligi o'tkazgich qarshiligi va temperaturasiga bog'liq.

37. Mustaqil gaz razryadi...

A. elektrodlar orasidagi elektr maydon ta'sirida vujudga keladigan zaryad tashuvchilar tufayli kuzatiladigan gazlardagi elektr tokidir.

B. elektrodlar orasidagi magnit maydon ta'sirida vujudga keladigan zaryad tashuvchilar tufayli kuzatiladigan gazlardagi elektr tokidir.

C. elektrodlar orasidagi magnit maydon ta'sirida vujudga keladigan zaryad tashuvchilar tufayli kuzatiladigan suyuqliklardagi elektr tokidir.

D. elektrodlar orasidagi magnit maydon ta'sirida vujudga keladigan zaryad tashuvchilar tufayli kuzatiladigan qattiq jismlardagi elektr tokidir.

E. elektr maydon ta'sirida vujudga keladigan zaryad tashuvchilar tufayli kuzatiladigan gazlardagi elektr tokidir.

38. EYuK deb nimaga aytiladi?

A. turli metallardan tuzilgan berk kontur kontaktidagi temperaturalar farqi tufayli tok vujudga kelishiga

B. o'tkazuvchan berk konturda magnit oqimini o'zgarishi tufayli tok hosil bo'lishiga

C. o'zgaruvchan magnit maydoni tufayli uyurmali elektr maydonining vujudga kelishiga

D. tashqi kuchlar maydoni kuchlanligi vektorning sirkulyatsiyasiga

E. ptensiallar farqi tufayli tok vujudga kelishiga.

39. Termo EYuK – deb nimaga aytiladi?

A. turli metallardan tuzilgan berk kontur kontaktidagi temperaturalar farqi tufayli tok vujudga kelishiga

B. o'tkazuvchan berk konturda magnit oqimining o'zgarishi tufayli tok hosil bo'lishiga

C. o'zgaruvchan magnit maydoni tufayli uyurmali elektr maydonining vujudga kelishiga

D. tashqi kuchlar maydoni kuchlanganligi vektorining sirkulyasiga

E. potentsiallar farqi tufayli tok vujudga kelishiga

40. Metallarda elektr tokining elektron nazariyasi kamchiliklaridan birini ayting.

A. tok zichligi elektr maydon kuchlanganligining kvadratiga proporsionaldir

B. o'tkazgichlarning qarshiligi temperaturaga to'g'ri proporsionaldir

C. o'tkazgichlarning qarshiligi temperaturadan chiqarilgan ildizga proporsionaldir

D. elektr tokini yaxshi o'tkazuvchi moddalar issiqlikni ham yaxshi o'tkazadilar

E. elektr o'tkazuvchanlik temperaturaga proporsional ortadi

41. Gidratsiya nima?

A. musbat va manfiy ionlardan neytral molekulaning hosil bo'lishi;

B. tezlatilgan ionlarning nurlanishi;

C. yorug'lik ta'sirida molekulalarning ionlarga parchalanishi;

D. ionlarning qutbli suv molekulalari bilan o'rab olinishi;

E. neytral molekulalarni elektron biriktirib, manfiy ionga aylanishi.

42. Termoelektron emissiya nima?

A. juft metallarda qizdirish tufayli EYuK ning vujudga kelishi;

B. past temperaturalarda metallar elektr o'tkazuvchanligining keskin o'zgarishi;

C. metallar kontaktida qizdirish tufayli potentsiallar ayirmasining vujudga kelishi;

D. qizdirilgan metallardan elektronlarning ajralib chiqishi;

E. metallarda elektronlarning issiqlik ta'siridagi ko'chishi.

43. Termoelektron emissiya qanday temperaturada kuzatiladi?

E. o'zgaruvchan tokni o'zgarmas tokka aylantirishda.

48 .Agar tok kuchi 30 A bo'lganda, tashqi zanjirda quvvat 180 Vt; tok kuchi 10A bo'lganda esa quvvat 120 Vt gat eng bo'lsa, tok manbaining EYUK. qancha bo'ladi?

A. 15 V B. 14V C. 10V D. 13V E. 12V

49. Uzunligi 1km bo'lgan mis simning qarshiligi 75,65 Om. Simning og'irligi toping. Misning zichligi $8,9 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$, solishtirma qarshiligi $1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Om}\cdot\text{m}$

A. 20H B. 45H C. 83H D. 118H E. 225H

50. Ichki qarshiligi 0,5 Om va EYuKi 1,6 V gat eng element berilgan. Undagi tok kuchi 2,4 A bo'lgandagi FIK ini (%) toping.

A. 40 B. 35 C. 30 D. 25c E. 20

Masalalar yechish namunalari

1. Qarshiligi $R=100\text{ Om}$ bo'lgan potentsiallar tok manbaiga ulangan. Uning E.Yu.K. $\varepsilon=150\text{ V}$ va ichki qarshiligi $r=50\text{ Om}$ (I-rasm). Qarshiligi $R=500\text{ Om}$ bo'lgan potentsiometrni qo'zg'almas va qo'zg'aluvchan klemmlarini o'rtasiga ulangan voltmetrni ko'rsatishi nimaga teng bo'ladi? Shu nuqtalar orasida voltmetr bo'lmaganda kuchlanish nimaga teng bo'ladi?

Berilgan:

Yechish:

$$R=100\text{ Om}$$

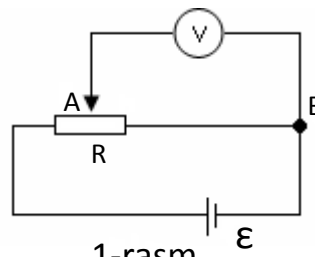
$$\varepsilon=150\text{ V}$$

$$r=50\text{ Om}$$

$$R=500\text{ Om}$$

$$U_1=?$$

$$U_2=?$$



1-rasm

A va B nuqtalarga ulangan voltmetrdagi kuchlanish

$$U_1 = I_1 R_1 \tag{1}$$

formula bilan topiladi. Bu yerda I_1 -zanjirni tarmoqlangan qismidagi tok kuchi, R_1 -bir-biriga parallel ulangan voltmeter qarshiligi R_v bilan potentsiometr qarshiligi yarmisini natijaviysi

$$\frac{1}{R_1} = \frac{1}{R_v} + \frac{1}{R}, \text{ yoki } R_1 = \frac{R R_v}{R + 2R_v} \tag{2}$$

Zanjirning tarmoqlanmagan qismidagi tok kuchi

$$I_1 = \frac{\varepsilon}{R_3 + r}, \tag{3}$$

bu yerda R_3 - tashqi zanjirning qarshiligi va u

$$R_3 = \frac{R}{2} + R_v \tag{4}$$

ga teng. Endi (2), (3) va (4) lardan foydalanib,

$$U_1 = \frac{\varepsilon}{\left(\frac{R}{2} + \frac{RR_v}{R+2R_v} + r\right)} \cdot \frac{RR_v}{R+2R_v} \quad (5)$$

ni topamiz. Bu hisoblash formulamizga son qiymatlarini qo'yamiz: A va B nuqtalar orasida voltmeter ulanmagandagi kuchlanish U_2 , quyidagicha aniqlanadi:

$$U_2 = I_2 \frac{R}{2}, \quad (6)$$

bu yerda U_2 -yopiq zanjir uchun Ohm qonunidan topiladi. Demak,

$$I_2 = \frac{\varepsilon}{R+r}, \quad U_2 = \frac{\varepsilon}{R+r} \cdot \frac{R}{2}. \quad (7)$$

Hisoblaymiz:

$$U_2 = \frac{150}{100+50} \cdot 50 = 50 \text{ V}. \quad (8)$$

2. Tok manbaiga ulangan reostatning qarshiligi manbaning ichki qarshiligiga teng. Reostat qarshiligi necha marta kamaytirilganda, undagi kuchlanish 2,5 marta kamayadi?

Berilgan:

$$R_1 = r;$$

$$U_2 = U_1 / 2.5;$$

$$R_2 / R_1 = ?$$

Yechish:

$$U_1 = I_1 R_1 = \varepsilon / (R_1 + r) r = \varepsilon / 2$$

$$U = I_2 R_2 = \varepsilon / (R_2 + r) R_2 = \varepsilon R_2 / (R_2 + r)$$

$$\varepsilon R_2 / (R_1 + R_2) \cdot 2 / \varepsilon = 1 / 2.5$$

$$5R_2 = R_2 + R_1 \quad 4R_2 = R_1$$

$$R_2 / R_1 = 1/5;$$

Fikrlash qobiliyatini o'zlashtirish uchun tavsiya qilinayotgan amaliy masalalar

1. 15 V kuchlanish tarmog'iga 12V li akkumlyator batareyasini ulab, 1A tok kuchi bilan zaryadlash uchun batareyaning ichki qarshiligi 2 Om bo'lsa, unga qanday qarshilik ulash lozim?
2. $m=300$ t bo'lgan ekskavator qiyaligi 0,01 bo'lgan yo'lda 36 km/soat tezlik bilan harakatlanmoqda. Agar qarshilik kuchi og'irlik kuchining 3 % ga, kuchlanish esa 3 kV, motorning F.I.K. 80 % bo'lsa, motordagi tok kuchini hisoblang.
3. Temir xloridni 2 soat davomida 10 A tok kuchi bilan elektroliz qilganda, qancha miqdorda temir va qancha xlor ajralib chiqishini hisoblang. Temirning molyar massasi 55,85 g/mol xlorniki esa 35,46 g/mol, valentliklari esa mos holda 3 va 1-ga teng.
4. Havoning ionlashtirish energiyasi 15 eV. Normal sharoitda kuchlanganlik $E=3 \cdot 10^6 \text{V/m}$ -ga teng bo'lganda uchqun razryad kuzatiladi. Elektronning erkin yugurish masofasini aniqlang. $e=1.6 \cdot 10^{-19} \text{Kl}$.
5. Ba'zi Metallarda elektronning chiqish ishi 3 eV ga eng. Kinetik energiyasi $W=10^{-18}$ m bo'lgan elektron metall sirtidan qanday tezlik bilan chiqadi?
 $m_0 = 9.1 \cdot 10^{-31}$ $e=1.6 \cdot 10^{-19}$
6. Chiqish ishi 5 eV bo'lgan metall sirtidan elektron 10^6 m/s tezlik bilan chiqishi uchun qanday kinetik energiyaga ega bo'lishi lozim?
7. Elektron metall sirtidan $1 \cdot 10^6$ m/s tezlik bilan chiqishi uchun chiqish ishi 3eV bo'lgan metallni qanday temperaturagacha qizdirish lozim?
8. Metall buyum sirtiga elektrolitik usul bilan 30 mkm qalinlikda kumush qoplanmoqda. Tok zichligi $2,5 \cdot 10^{-3}$ A/sm² elektroliz qancha vaqt davom etadi?

9. Elektroliz jarayonida katodda 500 mg metall ajraldi. Bu jarayon 1,5 A tok kuchida 5 minut davom etdi. Bu qanday metall, uning hossalari ayting.

“O’zgarmas elektr toki” bobiga doir yakuniy nazorat uchun savollar va tayanch iboralar namunalari

1. Elektr tokining mavjudlik shartlari. EYuK.

Elektr toki. Elektr tokining turlari, (konveksion, o’tkazuvchanlik, induksion va siljish) Tok kuchi. Tok zichligi va ularning birliklari. Tok kuchining zichligi orqali ifodalanishi.

2. O’zgarmas tok qonunlari.

Berk zanjir. EYuK, EYuK ning uch xil ifodasi. EYuK birligi, kuchlanish, tashqi kuchlar va uning turlari, akkumlyator.

3. Tok zanjirini xarakterlovchi parametrlar.

O’tkazgichlarning qarshiligi, elektr o’tkazuvchanlik, elektr o’tkazuvchanlikning ifodasi va ularning birliklari, solishtirma qarshilik, qarshilikning temperaturaga bog’liqligi, qarshilikning termik koeffitsiyenti, qarshilikning temperaturaga bog’lanish grafigi, o’ta o’tkazuvchanlik.

4. Elektrolitlarda elektr toki.

Elektrolitlar, (tuz, kislota, ishqorlar) Elektrod, ion, kation, anion, gidrasiya, dissosatsiya. Ionli harakatchanlik, elektrokimyoviy ekvivalentlik, kimyoviy ekvivalentlik. Faradey soni va uning ma’nosi, elektroliz hodisasi, elektrolizning ishlatilishi.

5. Gazlarda elektr toki. Nomustaqil razryad.

Gaz razryadi, nomustaqil razryad, ionlashtirish. Ionagent, termoionizatsiya, rekombinatsiya, ikkilamchi va fotoionizatsiya. Katod nurlari. Volt-amper xarakteristikasi.

6. Gazlarda elektr toki. Mustaqil razryad.

Gaz razryadi. Siyraklashgan gazlarda elektr toki. Mustaqil razryad turlari, ularning ishlatilishi, toj razryad, uchqun razryad, plazma.

7. Termoelektr hodisalar.

Termoelektr hodisalar. Chiqish ishi. Kontakt potentsiali. Kontakt potentsiallar ayirmasi. Termo EYuK. Termo EYuK koeffitsiyenti. Termopara, termobatareya va ularning ishlatilishi. Peltje va Zeebek hodisalari.

8. Vakuumda elektr toki.

Elektron lampalar. Diod, triod, anod, katod, tur va ularning vazifalari. VAX.

9. Yarimo'tkazgichlar.

Yarimo'tkazgichlarda elektr toki. Xususiy o'tkazuvchanlik. Yarimo'tkazgichlarda zonalar nazariyasi. O'tkazuvchanlik, valent zona, ta'qiqlovchi zona, o'tkazuvchanlik zonasi, Fermi sathi.

10. Aralashmali yarim o'tkazgichlar.

Aralashmali o'tkazuvchanlik. p-tip yarim o'tkazuvchanlik, n-tip yarim o'tkazuvchanlik. p va n tip yarimo'tkazgichli diod, transistor, emmitter, kollektor, baza, yarimo'tkazgichlarning ishlatilishi.

III-BOB

MAGNETIZM

3.1. Magnit maydoni va uni xarakterlovchi kattaliklar

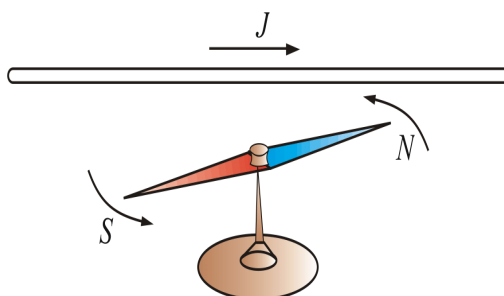
Biz yuqorida elektrostatika , o'zgarmas tok qonunlari va ular bilan bog'liq hodisalardan amalda foydalanishni ko'rdik , ularning yagona nazariyasini ko'rib chiqdik, lekin bu elektr va ular bilan bog'liq hodisalarni to'la to'kis o'rgandik degan gap emas kishilar qadimdan ba'zi madan (ruda) larni ichida o'ziga metall buyumlarni tortish qobiliyatiga ega bo'lgan bo'laklar borligini kuzatib kelgan va ularni magnitlar deb ataganlar. Tarkibida FeO_4 , NiO_2 Co, CrO_3 , TiO_2 va ularning qotishmalari bo'lgan jismlar tabiiy yoki doimiy magnitlar deb yuritiladi. Tokli g'altak ichiga joylashtirilgan toblangan po'lat o'zak doimiy magnitga misol bo'lishi tajribadan ma'lum.

Har qanday magnitda eng kuchli ta'sir etadigan va har qancha bo'laklanganda ham yo'qolmaydigan ikkita nuqta mavjud bo'lib ular magnit qutblari deb yuritiladi. Magnit strelkasi erkin aylanadigan qilib o'rnatilsa yer meridiani bo'ylab joylashadi. magnit strelkasini yerning shimolini ko'rsatadigan uchi shimoliy N – qutb , qarama-qarshi uchi esa janubiy S-qutb deb qabul qilingan. Bir xil ismli magnit qutblari o'zaro itarishadi, har xil ismli magnit qutblari esa bir – biri bilan tortishadi. Bundan yer tomonlarini aniqlovchi kompos sifatida foydalanish bilan birga yerning magnit maydoniga ega ekanligini isbotlovchi dalil sifatida ham kishlatiladi.

Yer gigant magnit bo'lib uning janubiy qutbi 78,6 shimoliy geografik kenglik , 99-g'arbiy uzoqlikda, shimoliy geografik qutbdan 2100 km masofada joylashgan. Shimoliy magnit qo'tibi esa 66,5 janubiy kenglikda 140 sharqiy uzoqlikda joylashgan yerning magnit qutblaridan o'tgan to'g'ri chiziq geografik o'q bilan 11,5⁰ burchakni tashkil qiladi va u yerning magnit o'qi deb yuritiladi.

Tajribalar ko'rsatishicha, tokli o'tkazgich va doimiy magnit o'zi joylashgan muhit hossalarni, zaryadlangan jism kabi o'zgartiradi, ya'ni magnit maydoni deb ataladigan maydonning alohida turini vujudga keltiradi.

Magnit maydoni ham boshqa maydonlar kabi materiyaning o'ziga xos yashash formasidir. U makonda va zamonda mavjud, ya'ni ob'yektiv reallikdir. Magnit maydoni elektr va boshqa maydonlardan farqli o'laroq, shunday hossalarga egaki, bu uni boshqa xil maydonlar bilan aralashtirib yuborishga yo'l qo'ymaydi. Ana shunday hossalardan birini Erested (1820y) tajriba asosida aniqlagan. Bunda u tokli o'tkazgichning magnit strelkasiga ta'siridan foydalanadi:



3.1-rasm

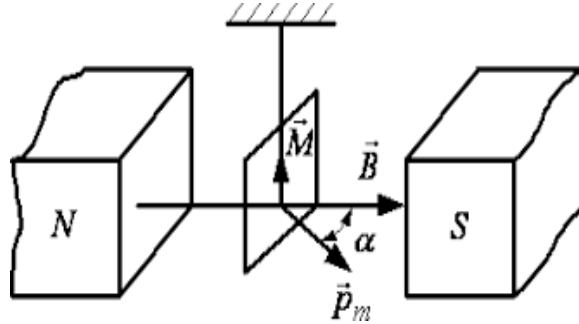
U har xil materiallardan yasalgan, turli shaklli tokli o'tkazgichlar bilan o'tkazgan tajribalar natijalarini umumlashtirib quyidagi xulosaga keldi:

Har qanday tokli o'tkazgich, uning materiali va undagi tokning turidan qat'iy nazar, magnit maydonini vujudga keltiradi. Magnit maydoni harakatlanayotgan zaryadli zarrachaga ta'sir orqali namoyon bo'ladi. Magnit maydonini o'rganishda mexanikadagi moddiy nuqta, elektrostatikadagi nuqtaviy zaryad kabi elementlar tokli kontur tushunchasidan foydalanadi.

Tajribalar ko'rsatishicha, tokli o'tkazgich atrofidagi magnit maydoni, elementar tokli konturga yo'naltirilgan aylantiruvchi kuch bilan ta'sir etadi. Bu kuchlarning aylantiruvchi mexanik momenti, magnit maydonini xarakterlovchi kattaliklar va kontur hossalari bog'liq bo'lib, u quyidagicha ifodalanadi.

$$\mathbf{M} = [\mathbf{P}_m \mathbf{B}] \quad (3.1)$$

Bu yerda: $\mathbf{P}_m = I \mathbf{S} \mathbf{n}$ konturning *magnit momenti* deb yuritiladi. \bar{n} -konturga o'tkazilgan birlik tashqi normal vektor.



3.2-rasm

Maydonning turli nuqtalariga, magnit momenti har xil bo'lgan kontur joylashtirilsa, ularga turlicha aylantiruvchi kuch momentlari ta'sir etadi. Tajribalar ko'rsatishicha, maydonning barcha nuqtalari uchun M/P_m nisbat bir xil bo'lib, maydonni xarakterlovchi kattalik sifatida qabul qilingan va *magnit maydon induksiya vektori* deb ataladi.

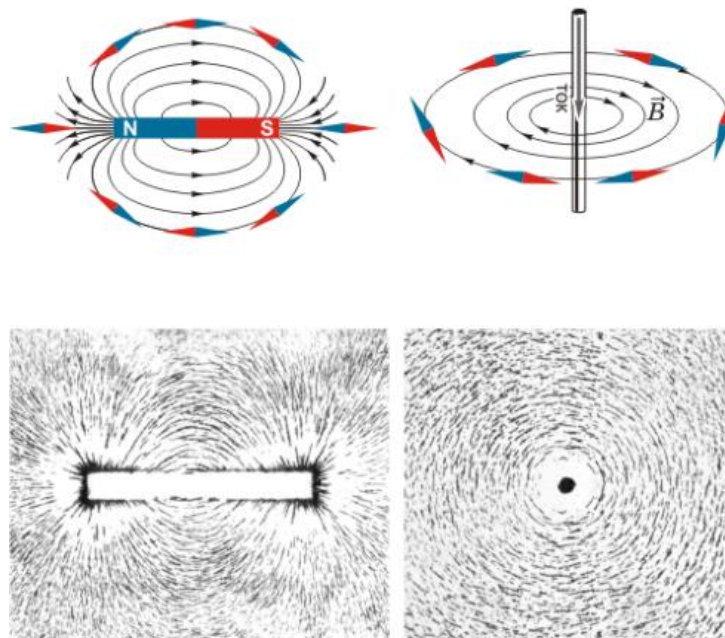
$$\frac{\mathbf{M}}{P_m} = \mathbf{B} \quad (3.2)$$

Magnit induksiya halqaro birliklar sistemasida teslalarda o'lchanadi.

$$[\mathbf{B}] = \left[\frac{\mathbf{M}}{P_m} \right]; \quad 1Tl = 1 \frac{Nm}{Am^2} = 1 \frac{BAsek}{Am^2} = 1 \frac{Bb}{m^2} \quad (3.3)$$

Magnit maydonning induksiya vektori yo'nalishi sifatida tokli konturga o'tkazilgan tashqi normal vektor yo'nalishi qabul qilingan. Magnit induksiya vektori (\mathbf{B}) tok kuchi yo'nalishi bilan o'ng vint qoidasiga asosan aniqlanadi: \bar{B} - shunday yo'nalganki, uning uchidan qaralganda, konturdagi tok soat strelkasi yo'nalishi bilan mos tushadi.

Magnit maydonini magnit induksiya chiziqlari yordamida ko'rgazmali tasvirlash mumkin. Magnit induksiya chiziqlari temir kukuni yordamida quyidagicha hosil bo'ladi:

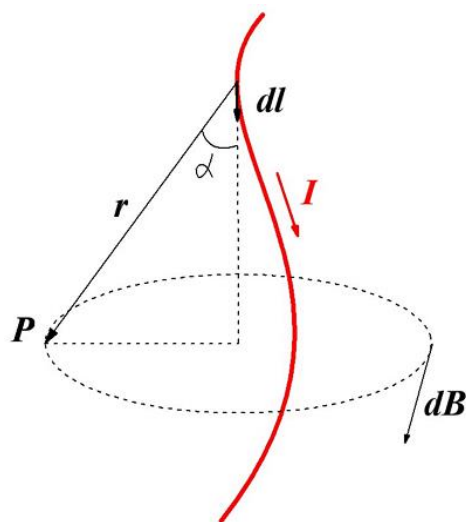


3-rasm

Tajribalar ko'rsatishicha, magnit induksiya chiziqlari berk chiziqlar bo'lib, tokli o'tkazgichni o'rab olgan bo'ladi, ya'ni magnit maydoni uyurmali xarakterga egadir. Ana shu jihati bilan ham magnit maydoni elektr maydonidan farq qiladi.

3.2. Bio-Savar-Laplas qonuni

1820-yilda fransuz olimlari J. Bio va F.Savarlar turli shakldagi tokli o'tkazgichlar magnit maydonini o'rganib, barcha hollarda magnit induksiyasi maydonini hosil qiluvchi tok kuchi, tokli o'tkazgich shakli va uning o'lchamlariga bog'liq ekanligini aniqladilar. Magnit induksiyasi vektor harakatiga ega ekanligiga e'tibor berib Laplas tajriba natijalarini umumlashtirib, tok elementi hosil qilgan ixtiyoriy nuqtadagi magnit induksiyasi vektori uchun quyidagi formulani keltirib chiqaradi:



3.4-rasm

$$d\mathbf{B} = k \frac{I[dlr]}{r^3} \quad (3.4)$$

k-proporsionallik koeffitsenti bo'lib o'lchov qanday sistemada tanlab olinishiga bog'liq.

Agar o'lchov halqaro birliklar sistemasida tanlab olinsa,

$$k = \mu_0 / 4\pi \quad (3.5)$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Gn/m} \quad (3.6)$$

μ_0 -Magnit Doimiysi

Superpozitsiya prinsipiga asosan har qanday tokli o'tkazuvchining magnit induksiya vektori, uning elementar bo'lakchalari hosil qilgan induksiya vektorlarining geometrik yig'indisiga teng.

$$B = \sum dB; \text{ yoki } B = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \oint \frac{dl}{r^2} \sin \alpha \quad (3.7)$$

Bio-Savar-Lapsas qonunining ifodasidir.

Har qanday tokli o'tkazgich magnit maydoning ixtiyoriy nuqtasidagi magnit induksiyasi, tok kuchi va tok elementi uzunligi tok elementi bilan kuzatish yo'nalishi orasida burchak sinusiga to'g'ri proporsional bo'lib radius-vektor kvadratiga esa teskari proporsionaldir.

Bio-Savar-Laplas qonunining tadbirlari

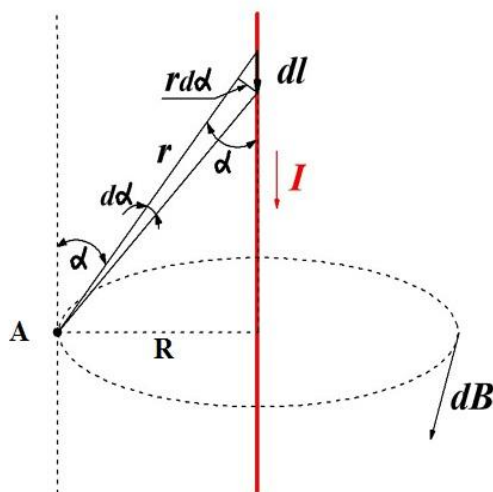
To'g'ri tokli o'tkazgich magnit maydoni

Kuzatilayotgan nuqta o'tkazgichdan R-uzoqlikda bo'lsin. Barcha tok elementlardan A-nuqtada hosil bo'layotgan magnit induksiya vektorlari bir to'g'ri chiziqda yotib, bir tomonga yo'nalgan bo'ladi. Shu tufayli dB-vektorining yig'indisini ularning moduli yig'indisi bilan almashtirish mumkin:

$$r = \frac{R}{\sin \alpha} \quad dl = \frac{rd\alpha}{\sin \alpha} = \frac{Rd\alpha}{\sin^2 \alpha} \quad (3.8)$$

buni (3.7) ga qo'yib:

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I}{R} \sin \alpha d\alpha \quad (3.9)$$



3.5-rasm

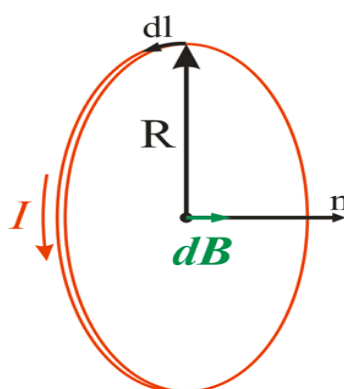
6-ni α -ning o'zgarish sohasi ($0-\pi$) da integrallaymiz.

$$B = \int \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I}{R} \sin \alpha d\alpha = \frac{\mu_0 2I}{4\pi R} ; \quad B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R} \quad (3.10)$$

To'g'ri tokli o'tkazgich magnit maydoni induksiyasining ifodasidir.

Doiraviy tokli o'tkazgich markazidagi magnit maydon

Doiraviy tokli o'tkazgichning barcha elementlari normal vektor bilan bir xil yo'nalgan magnit induksiya vektori (\overline{dB}) ni hosil qiladi.



3.6-rasm

$\sin \alpha = 1$ Bio-Savar-Laplas qonuniga asosan

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I dl}{R^2} \quad (3.11)$$

(3.11) ni integrallab quyidagini hosil qilamiz:

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{1}{R^2} \int dl = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{1}{R^2} \cdot 2\pi R \quad B = \frac{\mu_0 I}{2R} \quad (3.12)$$

(3.12) doiraviy tokli o'tkazgich markazidagi magnit induksiyasining ifodasidir.

Solenoid maydonining magnit induksiyasi

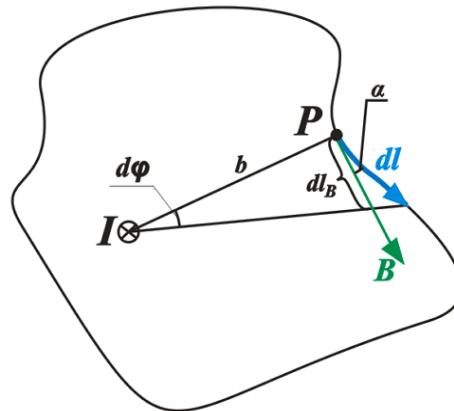
Solenoid maydonining magnit induksiyasini aniqlash uchun magnit induksiya vektorining sirkulyatsiyasini hisoblaymiz. Magnit induksiya vektorining kontur elementiga proyeksiyasini shu kontur bo'yicha olingan algebraik yig'indisidan iborat kattaligiga induksiya vektorining sirkulyatsiyasi deyiladi:

$$\int_L \mathbf{B}_l dl = \oint \mathbf{B}_l dl \cos \alpha \quad (3.13)$$

To'g'ri tokli o'tkazgichga perpendikulyar tekislikda yotgan konturni kuzatamiz.

Konturning har bir nuqtasidagi magnit induksiya vektori shu nuqta orqali o'tgan aylanaga urinma tarzda yo'nalgan bo'ladi.

Vektorning skalyarga ko'paytmasidan foydalanib:



3.7-rasm

$$B_l dl = B dl_B$$

$$\oint_L B dl_B = B \oint_L d\varphi \quad (3.14)$$

Konturni aylanib chiqishda, radius vektor bir tomonga siljib, 2π burchakka buriladi.

$$\oint_L \vec{B}_l dl = BR2\pi = \frac{\mu_0 I}{2\pi R} 2\pi R = \mu_0 I \quad (3.15)$$

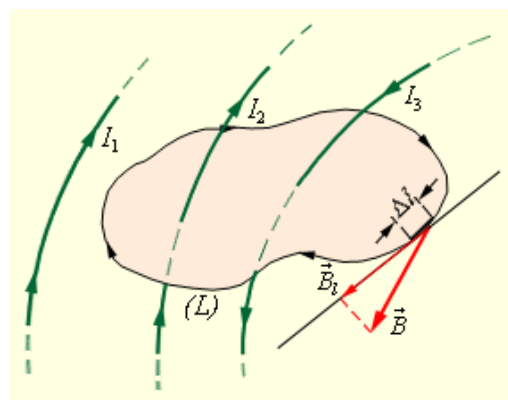
$\oint_L \vec{B}_l dl = \mu_0 I$ Agar kontur bir necha tokni o'rab olgan bo'lsa, magnit induksiya vektorining sirkulyatsiyasi:

$$\oint_L \vec{B}_l dl = \mu_0 \sum I_l \quad (3.15^1)$$

ga teng bo'ladi.

1. Magnit maydonning induksiya chiziqlari berk chiziqlardir. Ularning elektr maydon kuchlanganlik chiziqlari kabi boshlanish nuqtasi ham, tugallanish nuqtasi ham bo'lmaydi. Boshqacha aytganda, tabiatda magnit zariadlari yo'q;
2. Magnit maydonining faqat harakatdagi zaryadli zarrachalar vujudga keltiradi;
3. Magnit maydon induksiya vektori sirkulyatsiyasi noldan farqli bo'lib, bu uni uyurmali maydon ekanligidan darak beradi.

Agar kontur tokli o'tkazgichni o'rab olmagan bo'lsa radius – vektor dastlab kontur bo'yicha 1→2 yo'nalishida qancha burchakka burilsa, 2→1 yo'nalishda shuncha burchakka siljib, to'la burilish burchagi nolga teng bo'ladi. ya'ni :

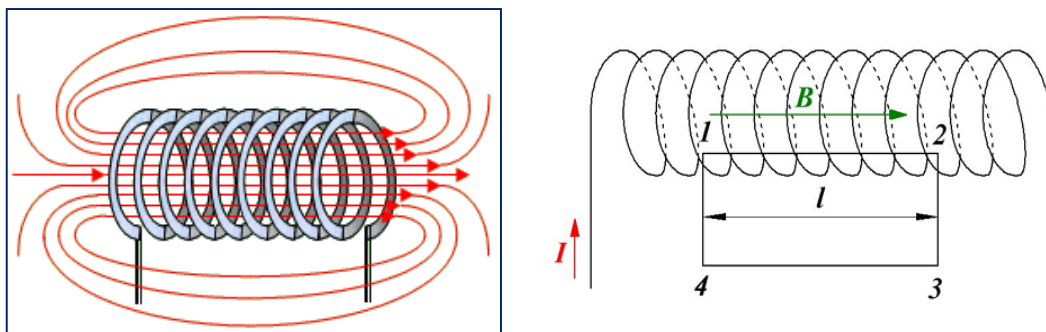


3.8-rasm

$$\oint_L d\varphi = 0 \quad \text{demak,} \quad \oint_L B_l dl = BR \oint d\varphi = 0 \quad (3.16)$$

Endi solenoid maydonining induksiyasi hisoblaymiz. ($l \gg R$ - bo'lgan tokli o'tkazgich solenoid deb yuritiladi.

Solenoid kvadrat shaklidagi konturning bir qismini qamrab olgan bo'lsin. Sirkulyatsiyaning ta'rifiga muvofiq:



3.9-rasm

$$\oint_L B_l dl = \int_1^2 B_l dl + \int_2^3 B_l dl + \int_3^4 B_l dl + \int_4^1 B_l dl \quad (3.17)$$

Ifodaning ikkinchi, uchinchi va to'rtinchi hadi nolga teng, chunki konturning integral olinayotgan qismi, o'tkazgichning qamrab olmagan. Shunday qilib:

$$\oint_L B_l dl = \int_1^2 B_l dl = Bl \quad (3.18)$$

Kontur elementi uzunligi n -ta o'ramdan iborat deb sirkulyatsiya uchun

$$\oint_L B_l dl = \mu_0 \sum I = \mu_0 nl \quad (3.19)$$

lardan

$$B = \frac{\mu_0 n I}{l} \quad (3.20)$$

Solenoidning magnit maydoni induksiyasi ifodasidir.

3.3. Magnit maydonida harakatlanuvchi zaryadli zarrachalarga ta'sir etuvchi kuchlar. Lorens kuchi.

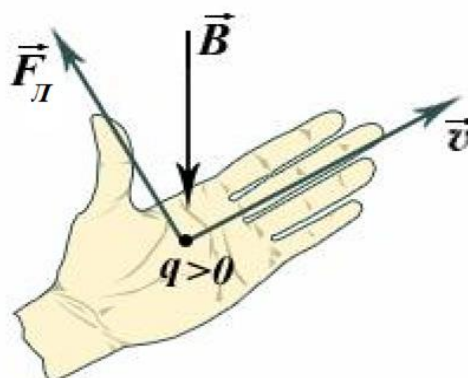
Magnit maydoni nafaqat magnit moddalarga, balki tokli o'tkazgichlarga, shuningdek harakatdagi zaryadli zarrachalarga ham ta'sir etadi. Bu xulosa qator tajribalar asosida tasdiqlangan.

Magnit maydonida harakatlanuvchi zaryadli zarralarga ta'sir etuvchi kuch elektr tokining elektron nazariyasi asoschisi Lorens nomi deb yuritiladi va umumiy holda quyidagicha ifodalaniladi:

$$F = kq[vB] \quad (3.21)$$

Bu yerda k -proporsionallik koeffitsiyenti bo'lib, halqaro birliklar sistemasida $k=1$: Lorens kuchining moduli:

$$F = qvB \sin \alpha \quad (3.22)$$



3.10 – rasm

α - zarrachaning tezlik vektori bilan magnit induksiya vektori orasidagi burchak $\alpha = 0$ yoki $\alpha = \pi$ bo'lsa, $\sin \alpha = 0$. Demak, zaryadli zarracha magnit maydon induksiya vektoriga parallel holda harakat qilsa, magnit maydoni zaryadli zarrachaga hech qanday kuch bilan ta'sir qilmaydi. Lorens kuchining yo'nalishi tezlik vektori va induksiya vektoridan tuzilgan parallelogrammga perpendikulyar

yoʻnalgan boʻlib musbat zaryad uchun chap qul, manfiy zaryad uchun oʻng qoʻl qoidasiga muvofiq aniqlanadi.

Lorens kuchi hamma vaqt zarrachaning tezlik vektoriga perpendikulyarligi tufayli zaryadni koʻchirishda hech qanday ish bajarilmaydi, kinetik energiyasini ham oʻzgartirmaydi. Shunday qilib, faqat zarrachaga normal tezlanish berib, trayektoriyasini oʻzgartiradi holos. Lorens kuchi tufayli magnit maydonining elektr maydonidan yana bir farqli xususiyati aniqlandi. Magnit maydon tinch toʻrgan zaryadga taʻsir etmaydi, ($v=0 \quad F=0$) faqat harakatdagi zarachagina taʻsir etadi.

3.4. Amper kuchi

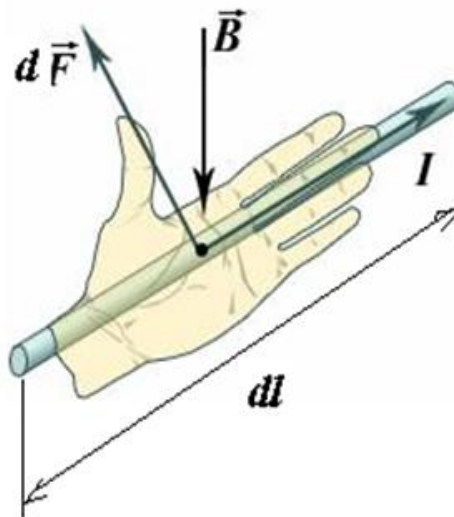
Oʻtkazgichlarda tok tashiydigan zaryadli zarrachalar, ayni vaqtda tartibsiz issiqlik harakatida v -tezlik bilan va maydon kuchlari taʻsirida, tartibli harakatda u -tezlik bilan qatnashadilar. Oʻtkazgich magnit maydonida joylashgan boʻlsa har bir zarrachaga taʻsir etayotgan magnit kuchlarining oʻrtacha qiymati:

$$\langle\langle F \rangle\rangle = e[\langle\langle v \rangle\rangle + \langle\langle u \rangle\rangle]B \quad (3.23)$$

Tartibsiz harakat tezligi vektorining oʻrtacha qiymati nolga teng. Shu tufayli quyidagicha yoziladi.

$$\langle\langle F \rangle\rangle = e[\langle\langle u \rangle\rangle \cdot B] \quad (3.24)$$

bilan aniqlanadigan magnit kuchlari zaryadli zarrachalarni panjara bilan toʻqnashuvi orqali oʻtkazgichga uzatiladi. Agar oʻtkazgichning hajm birligidagi zaryad tashuvchilari sonini n -deb olsak, oʻtkazgichning dl -elementiga taʻsir etuvchi kuchini quyidagicha ifodalash mumkin:



3.11-rasm

$$dF \ll F \gg \cdot n \cdot dls = [(neu) \cdot B] dl \cdot S \quad (3.25)$$

tok kuchini uning zichligi orqali yozamiz:

$$I = \oint_S j \cdot dS = neu \cdot S \quad (3.26)$$

(3.25) va (3.26) lardan :

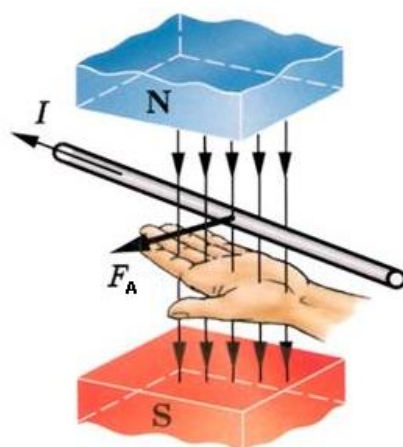
$$dF = I [dl \cdot B] \quad (3.27)$$

(3.27) Magnit maydoni tomonidan tokli o'tkazgichga ta'sir etuvchi kuch bo'lib Amper tomonidan bevosita tajribada aniqlangan.

Bu kuchning moduli:

$$F = IBl \cdot \sin \alpha \quad (3.27)$$

Amper kuchining yo'nalishi chap qo'l qoidasiga muvofiq aniqlanadi. Agar chap qo'l kiftiga magnit induksiya vektori kiradigan qilib, to'rttala barmoqni tokning yo'nalishi bilan mos tushadigan qilib joylashtirilsa, bosh barmog'imiz Amper kuchining yo'nalishini ko'rsatadi. (3.11-3.12 rasm)



3.12-rasm

$$B_1 = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{2I_1}{R}$$

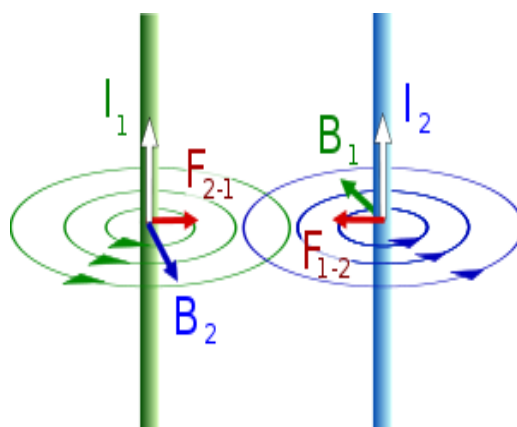
$$F_{21} = I_2 B_1 = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{2I_1 I_2}{R}$$

Parallel tokli o'tkazgichlar uzunlik birligiga ta'sir etuvchi kuch har bir o'tkazgichdan o'tayotgan tok kuchga to'g'ri proporsional bo'lib, ular orasidagi masofa esa teskari proporsionaldir:

$$F = k \frac{2I_1 I_2}{R} \quad (3.28)$$

bu yerda:

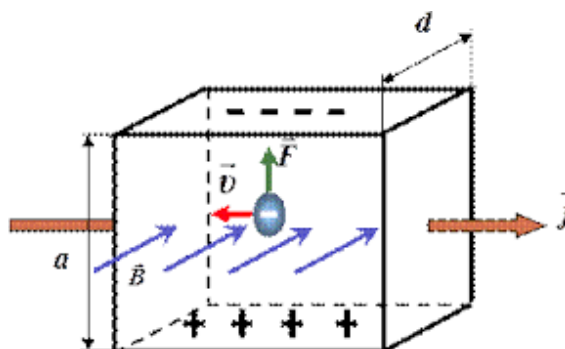
$$k = \frac{\mu_0}{4\pi}$$



3.13-rasm

3.5. Xoll effekti

Ingliz olimi E.Xoll tajribada magnit maydoniga joylashtirilgan yaxlit tokli o'tkazgichda magnit induksiyasi vat tok zichligi vektoriga perpendikulyar yo'nalishda potensial ayirmasi vujudga kelishini aniqlandi.



3.14-rasm

Tajribalar ko'rsatishicha, bu potensial ayirmasi o'tkazgichning materiali, uning geometrik o'lchami, magnit maydon induksiyasi va tok zichligiga bog'liq bo'lib quyidagicha ifodalaniladi:

$$(\varphi_2 - \varphi_1) = U_H = RaBj \quad (3.29)$$

Magnit maydonida harakatlanayotgan zaryadli zarracha magnit kuchlari ta'sir etib uni og'iradi.

$$F_n = e \langle\langle u \rangle\rangle B \quad (3.30)$$

Natijada o'tkazgichning sirtida bog'langan sirt zaryadlari vujudga keladi. Bu zaryadlarga magnit kuchlari bilan bir qatorda elektr kuchlari ham ta'sir etadi.

$$F = eE \quad (3.31)$$

Zaryadlarning og'ishi magnit va elektr kuchlari o'zaro tenglashguncha davom etadi. (3.30) va (3.31) – lardan $E = \langle\langle u \rangle\rangle B$ - ni hosil qilamiz.

Potensialning gredientiga ko'ra:

$$E = \frac{\varphi_+ - \varphi_-}{a}$$

$$\varphi_+ - \varphi_- = U_H = Ea \ll u \gg B \cdot a \quad (3.32)$$

Tok zichligini $j = en \ll u \gg$ hisobga olib:

$$U_H = \frac{1}{en} \cdot j \cdot Ba \quad (3.33)$$

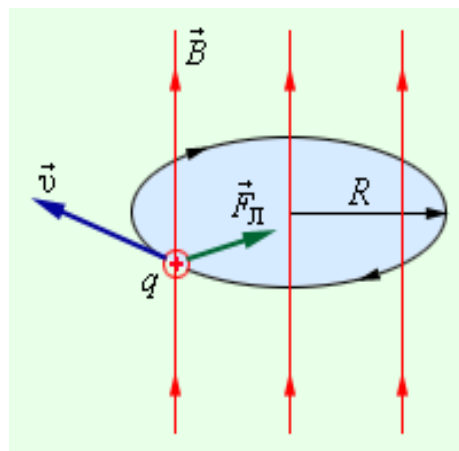
(3.33) va (3.32) larni taqoslab , Xoll doimiysi uchun :

$$R = \frac{1}{en}$$

Xoll effektidan yarimo'tkazgichining elektr hossalari tahlil qilishda foydalaniladi.

Siklotron

Magnit kuchlarining yo'nalishini zaryadli zarrachalarining tezlik vektoriga perpendikulyarligiga tufayli, uning tezligini o'zgartirmay, faqat yo'nalishidan o'zgartiradi, ya'ni normal tezlanish beradi. Magnit kuchlarining ma'lum qiymatida zaryadli zarracha yopiq trayektoriya bo'ylab harakatlanadi.



3.15-rasm

Bundaaylananing radiusi quyidagicha aniqlanadi:

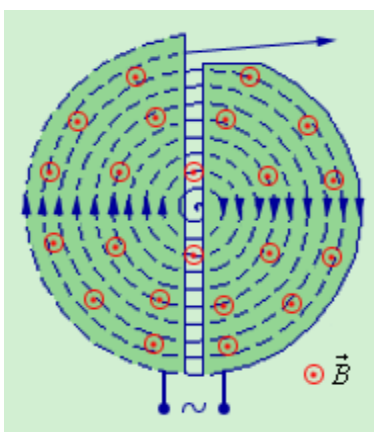
$$R = \frac{g^2}{a} = \frac{g^2 m}{q g B} = \frac{m}{q} \cdot \frac{g}{B} \quad (3.34)$$

Ifodadan aylananing radiusi zarracha tezligi, magnit maydon induksiyasi solishtirma zaryad miqdoriga proporsional degan xulosa kelib chiqadi. Zaryadli zarrachani aylanishish davri quyidagi tezlikdan aniqlanadi.

Magnit va elektr kuchlaridan elementar zarrachalarni o'rganishda energiyali zaryadli zarrachalar oqimini hosil qilishda va boshqarishda foydalaniladi. Bunday moslamalar tezlatgichlar deb yuritiladi.

Tezlatgichlar zarracha tabiati unga berilgan energiyaning turi va ishlash prinsipiga ko'ra har xil bo'ladi. Masalan: chiziqli tezlatgichlar , elektron va hokazo.

Siklotron magnit maydoniga joylashtirilgan duant deb ataladigan ichi kovak yarim silindrik idish bo'lib , u o'zgaruvchan tok manbaiga ulangan. Zaryadli zarracha duant oralig'iga joylashtirilsa tezlatuvchi elektr va og'diruvchi magnit kuchlari ta'sirida bir necha MeV, GeV energiya olgancha tezlashtiradi. Bunday zarrachalarga yadro reaksiolarini hosil qilishda ishlatadi.

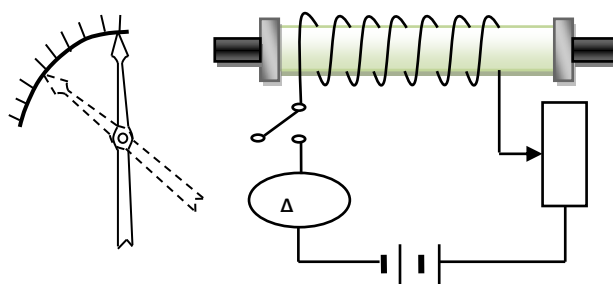


3.16-rasm

3.6. Moddalarning magnit maydoni

Magnit maydon kuchlanganligi

Biz yuqorida vaakumda joylashgan tokli o'tkazgichning magnit maydoni qonunlari bilan tanishdik. Agar o'tkazgich magnit hossasiga ega bo'lgan modda ichiga joylashtirilgan bo'lsa, moddaning magnitlanishi tufayli maydon o'zgaradi. Bu o'zgarishning quyidagi sodda tajribada namoyish qilishi mumkin.



3.17-rasm

Natijaviy maydon induksiyasi uchun:

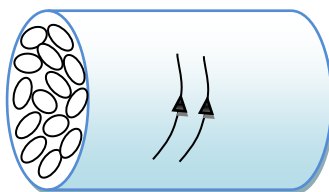
$$\mathbf{B} = \mathbf{B}_0 + \mathbf{B}^1 \quad (3.35)$$

B_0 -tokli o'tkazgich magnit maydonining induksiya vektori. B_1 -moddaning magnitlanishi tufayli vujudga kelgan magnit maydon induksiya vektori.

Tashqi maydon o'zgarmaganda to'ka maydon induksiyasi moddaning magnitlanishiga bog'liq.

Moddalarning magnitlanishini tushuntirish uchun Amper molekulyar toklar nazariyasiga asoslandi. Moddaning atom molekulyarlarida zaryadlarni aylanishi bilan bog'liq molekulyar toklar vujudga keladi. Bu molekulyar toklar magnit momenti:

$$P_m = evS$$



3.18-rasm

Tashqi maydon bo'lmaganda molekulyar magnit momentlari vektori \mathbf{P}_m tartibsiz yo'nalgan bo'lib ularning algebraik yig'indisi nolga teng bo'ladi.

$$\sum \mathbf{P}_m = 0 \quad \text{ya'ni magnit maydoni vujudga kelmaydi.}$$

Tashqi maydonda molekulyar magnit momentlari biror ustivor yo'nalishda tartiblanib induksiyasi noldan farqli bo'lgan \mathbf{B} magnitlanish hosil qiladi.

Magnit induksiyasi vektorning sirkulyatsiyasiga ko'ra:

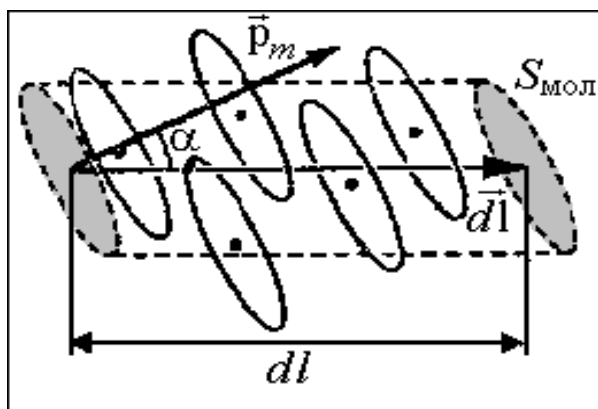
$$\oint_L \mathbf{B}_1 dl = \oint_L (\mathbf{B}_1 + \mathbf{B}^1) dl = \oint_L \mathbf{B}_1 dl + \oint_L \mathbf{B}^1 dl \quad (3.36)$$

Har qanday berk kontur bo'yicha magnit induksiya vektorining sirkulyatsiyasi, shu kontur o'rab olgan o'tkazuvchanlik va molekulyar toklarning algebraik yig'indisiga teng. Bu hulosa magnit maydon induksiya vektori uchun to'la toklar qonuni deb yuritiladi, va quyidagicha ifodalanadi:

$$\oint \mathbf{B}_1 dl = \sum \mu_0 I_y + \sum \mu_0 I_M \quad (3.37)$$

Molekulyartoklarni bevosita o'lcham bo'lmagani tufayli ular magnitlanish vektori orqali aniqlanadi. Magnitlanish vektori deb moddaning hajm birligidagi magnit momentlarining algebraik yig'indisiga son jihatdan teng kattalikka aytiladi:

$$\mathbf{J} = \frac{\sum \bar{\mathbf{P}}_m}{V} \quad (\text{A/m}) \quad (3.38)$$



3.19-rasm

Magnitlanish vektori bilan o'qi α -burchak tashkil etgan dl uzunlikdagi dS -kesim yuziga ega silindrik moddada n -ta molekula bor deb hisoblaymiz (3.19-rasm). U holda molekular toklarning algebraik yig'indisi uchun:

$$\sum I_m = \oint nevdsall'' \cos \alpha$$

$$\bar{P}_m = evdS$$

$\bar{I} = \bar{P}_m \cos \alpha$ ni e'tiborga olib :

$$\sum I_m = \oint I_1 dl \quad (3.39)$$

(3.39) ni hisobga olib quyidagicha ifodalaymiz.

$$\oint \left(\frac{B}{\mu_0} - \bar{J} \right) dl = \sum I_y \quad (3.40)$$

(3.40) dan ayirma H bilan belgilanadi va u magnit maydon kuchlanganligi deb yuritiladi.

$$\oint \left(\frac{B}{\mu_0} - J \right) = H \quad (3.41)$$

(3.41) ni hisobga olib (3.40) – ni soddaroq ko'rinishda yozish mumkin.

$$\oint_L H_1 dl = \sum I_y \quad \text{yoki} \quad \oint_L H_1 dl = \oint_S j dS \quad (3.42)$$

(3.42) ifoda elektrodinamikaning asosiy tenglamalaridan biri bo'lib hisoblanadi.

Vakuumda magnitlanish nolga teng bo'lgani uchun, (3.41) dan

$$H = \frac{B}{\mu_0} \quad \text{yoki} \quad B = \mu_0 \cdot H \quad (3.43)$$

(3.43) ni hosil qilamiz.

Agar doiraviy tokli o'tkazgich magnit maydoni induksiyasi ifodasini qo'ysak doiraviy tok markazidagi magnit maydon kuchlanganligi kelib chiqadi.

$$H = \frac{I}{2\pi b} \quad (3.44)$$

Odatda magnitlanish vektorining moddani magnit maydon induksiyasi orqali emas balki magnit maydon kuchlanganligi orqali ifodalash qabul qilingan.

$$J = \chi H \quad (3.45)$$

bu yerda, χ -moddaning magnit kiruvchanlik moddaning tabiati va temperaturasiga bog'liq bo'lgan o'zgarmas kattalikdir.

(3.45) – ga asosan (3.41) quyidagi ko'rinishni oladi.

$$H = \frac{B}{\mu} - \chi H \quad \text{yoki} \quad H(1 + \chi) = \frac{B}{\mu_0} \quad (3.46)$$

$\mu = 1 + \chi$ μ - modaning magnit doimiysi. Buni hisobga olib:

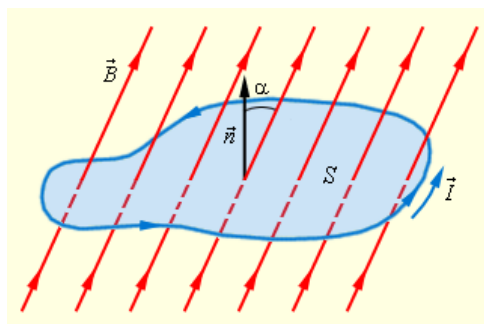
$$\vec{H} = -\frac{B}{\mu\mu_0} \quad \text{yoki} \quad \vec{B} = \mu\mu_0\vec{H} \quad (3.47)$$

Agar vakuumda magnit maydon induksiyasini B_0 -deb belgilasak $\mu = \frac{B}{B_0}$ nisbat moddalarda magnit maydoninduksiya necha marta ortganligini bildiradi va magnit doimiysi deb yuritiladi. Temperatura oshgan sari moddaning molekulyar magnit momentlarining tartibsiz yo'nalishlari ham ortadi. Natijada magnitlanish kamayib biror bir temperaturada umuman yo'qolishi kuzatiladi. Moddalarning magnitlanishi yo'qolishi kuzatilgan temperatura Kyuri nuqtasi deb ataladi.

3.7. Magnit oqimi. Gauss teoremasi.

Magnit maydonini xarakterlashda magnit induksiya vektori bilan bir qatorda magnit oqimi tushunchasidan ham foydalaniladi.

Bir jinsli magnit maydonida joylashgan dS -yuza orqali o'tayotgan magnit induksiya vektoriga son jihatidan teng kattalik magnit oqimi deb yuritiladi (3.20-rasm).



3.20-rasm

$$d\Phi_B = \int_S B dS \cos \alpha \quad (3.48)$$

Rasmdan , $B \cos \alpha = B_0$ deb belgilab,

$$d\Phi_B = B_n dS \quad (3.49)$$

Agar birlik normal vektor (\vec{n}) magnit induksiya vektori (\mathbf{B}) bilan o'tmas burchak hosil qilsa ($\alpha > \pi/2$) $d\Phi_B < 0$ manfiy, aksincha $\alpha < \pi/2$ bo'lsa $d\Phi_B > 0$.

Bir jinsli bo'lmagan magnit maydonida joylashgan berk sirt orqali o'tayotgan magnit oqimini hisoblaymiz, buning uchun sirtini shunday elementar bo'lakchalarga ajratamizki, uning har bir elementi uchun maydon bir jinsli deb hisoblanishi mumkin bo'lsin. U holda har bir elementar bo'lakcha uchun yozib integrallaymiz.

$$\Phi_B = \int_S B_n dS \quad (3.50)$$

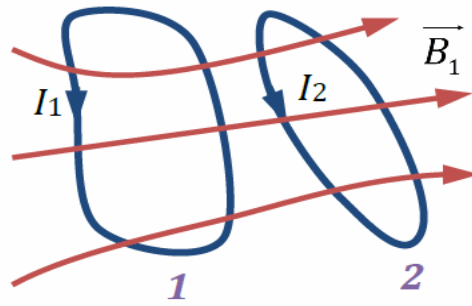
(3.50) ixtiyoriy sirt bo'yicha magnit maydon induksiya vektorini oqimini ifodalaydi.

Halqaro birliklar sistemasida magnit oqimi birligi qilib 1 Veber qabul qilingan.

Ma'lumki magnit induksiya chiziqlari berk chiziqlardir. Shu tufayli biror yopiq sirt bilan chegaralangan sohaga magnit maydon induksiya chiziqlari kirib, qancha magnit oqimi hosil qilsa, chiqishda ham shuncha shuncha musbat oqim hosil qiladi. Shuning uchun berk sirt bo'yicha to'la oqim nolga teng:

$$\oint_S B_n dS = 0 \quad (3.51)$$

(3.51) – magnit induksiya oqimi uchun Gauss teoremasining ifodasidir.



3.21-rasm

L-kontur orqali magnit induksiya chiziqlari qancha o'tsa, S , s^1 va s^{11} - sirtlar orqali ham shuncha chiziqlar o'tadi:

$$\oint_S B_n dS = \oint_S B_n ds = \oint_{s^1} B_n dS + \oint_{s^{11}} B_n dS \quad (3.52)$$

S' -ga o'tkazilgan tashqi normal magnit maydon induksiya vektoriga qarama-qarshi yo'nalganligi tufayli magnit oqimi manfiy bo'ladi, buni hisobga olib to'la oqim uchun:

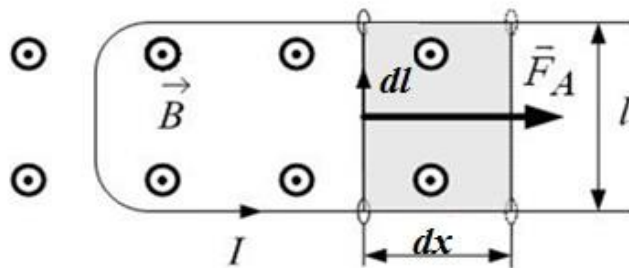
$$\oint_{S'+S''} B_n dS = \oint_{S'} B_n dS + \oint_{S''} B_n dS = 0 \quad (3.53)$$

Bundan har qanday berk sirt uchun magnit oqimi nolga teng degan hulosani chiqadi.

3.8. Magnit maydonida tokli o'tkazgichni ko'chirishda bajariladigan ish

Magnit maydon induksiya vektoriga perpendikulyar bo'lgan va magnit maydonida oson ko'chadigan tok elementini kuzatamiz. Ma'lumki magnit maydondagi tokli o'tkazgichga Amper kuchi ta'sir etadi:

$$F_A = I \cdot Bdl \quad (3.54)$$



3.22-rasm

Bu kuch tokli o'tkazgichning dl -elementini magnit maydonida ko'chirib ish bajaradi:

$$dA = F_A \cdot dx \quad \text{yoki} \quad dA = IBdl \cdot dx \quad (3.55)$$

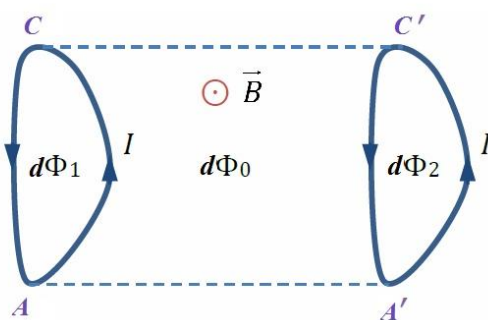
Magnit maydonida tokli o'tkazgichni ko'chirishda bajariladigan ish magnit oqimining o'zgarishiga proporsionaldir. Bu xulosani istalgan tokli kontur uchun umumlashtirish mumkin.

Endi magnit maydonida berk konturni ko'chirishda bajariladigan ishni hisoblaymiz. Konturni to'tashgan ABC va CDA bo'laklaridan tashkil topgan deb tassavvur qilib to'la bajarilgan ishni ifodalaymiz.

$$dA_2 = I(d\Phi_0 + d\Phi_2)$$

Shunday qilib magnit maydonida berk konturni ko'chirishda bajariladigan ish kontur yuzasi orqali magnit oqimining o'zgarishiga proporsionaldir.

$$dA = Id\Phi^1$$



3.23-rasm

Bu yerda $d'\Phi^1 = d\Phi_2 - d\Phi_1$ kontur orqali o'tayotgan magnet oqimining o'zgarishini hosil qilishini kuzatdik.

3.9. Magnitklar. Gisterizis hodisasi

Malumki moddalarning asosiy hossalardan biri ularning magnitlanishidir.

Barcha atom molikulyar tuzilishga ega (qattiq suyuq gaz) magnitlanish xususiyatiga ega moddalar magnitklar deb yuritiladi_

Moddalarni magnitlanish hossalarni haraktirlashda J

Magnitlanish vektori hamda ϵ magnet qabul qiluvchanligi deb ataladigan kattaliklardan foydalaniladi

Kuchlanganligi H Induksiyasi $\mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{H}$

Magnet maydoniga hajmi v bo'lgan jismni joylashtiramiz.

Jism magnitlanishi tufayli P_m magnet momintiga ega bo'ladi.

Moddalarning hajm birligidagi magnet momenti yig'indisiga son jihatdan teng kattalik magnitlanish intinsivligini bildiradi va u magnitlanish vektori deb yuritiladi

$$j_m = \frac{\sum P_m}{V} \quad (3.56)$$

Halqaro birliklar sistemasida (xbs) da A/m da o'lchanadi

Moddalar magnitlanish vektorini vakumdagi magnit induksiyasi vektoriga nisbati magnit qabul qiluvchanlik $[\alpha]$ – deb yuritiladi.

$$\alpha = \frac{J}{B_0} = \frac{J}{\mu_0 H}$$

$[\alpha]$ – o'lchov birliksiz kattalik

$$J = \alpha B_0 = \alpha \mu_0 H$$

Moddalarning 1 kg massasiga to'g'ri keladigan magnit qabul qiluvchanlik solishtirma magnit qabul qiluvchanlik deb yuritiladi va

$$\chi = \alpha / \rho$$

m^3/kg da o'lchanadi. ρ - moddaning zichligi. χ - Moddalarni 1 kg mol miqdoriga to'g'ri keladigan magnit qabul qiluvchanlik molyar magnit qabul qiluvchanlik deb yuritiladi va $m^3/kmol$ da o'lchanadi.

$$\chi = \alpha V$$

V_m Molyar hajm

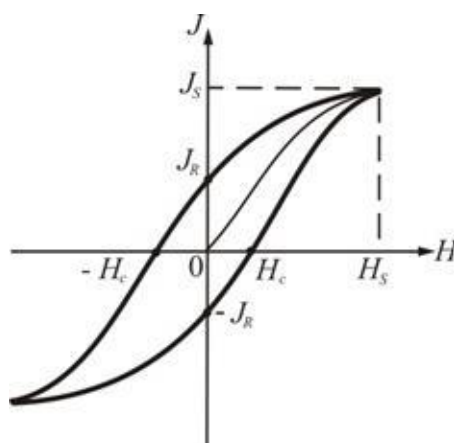
Moddalar χ - ni qumati va ishorasiga ko'ra uch turga bo'linadi(3.25-rasm):

1. Diamagnitliklar
2. Paramagnitliklar
3. Ferromagnitliklar

Quyida ularni jadvali keltirilgan

3-Jadval

Diamagnitliklar	$\chi = \mu - 1$ 10^{-5}	Paramagnitliklar	$\chi = \mu - 1$ 10^{-5}	Ferromagnitliklar	$\chi = \mu - 1$
Mis	-0.9	Platina	26	Temir	1000
Vismut	-18	Suyuq kislorod	360	Nikel	240
Almaz	-2	Fe_2O_3	140	Kobolt	150
Germaniy	-0.8	$FeCl_2$	360		
Kremniy	-0.3	CoO	580		
Selen	-1.7	$NiSO_4$	120		

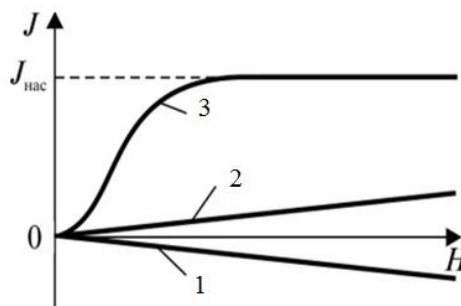


3.24-rasm

Diamagnitliklarda χ -diyarli katta bo'lmaydi manfiy, ular tashqi magnet maydonida qarama – qarshi yo'nalishda magnetlandi. Shu tufayli magnet maydonidan itarib chiqariladi.

Paramagnitliklarda ham χ -juda katta bo'lmaydi musbat bo'lib magnet maydoni yo'nalishda magnetlandi. shu tufayli magnet maydonida tortiladi.

Har ikkala holda ham magnitlanish vektori J maydon kuchlanganligiga proporsional bo‘lib χ - ni H ga bog‘liq emasligini ko‘rsatadi.



3.25-rasm

1 – diamagnitliklar

2 – paramagnitliklar

Kuchli maydonda va past temperaturalarda paramagnitik moddalar magnitlashi to‘yinish darajasiga erishdi. Paramagnitliklarni magnit hossalarni **Kyuri** tomonidan o‘rganilgan.

$$\chi = \frac{C}{T_k}$$

T_k - Kyuri nuqtasi deb yuritiladi. C – moddalar tabiatga bo‘liq o‘zgarmas son.

4-Jadval

	Temir	Kobalt	Nekel	30%Li permoloy
T_k	770	1150	360	70

Ferramagnitliklarda χ - juda yuqori bo‘lib musbat. Ferromagnitlarga asosan: temir, nikel, kobolt, godolini, torbiy va ularning qotishmalari kiradi

Tashqi maydonda magnitlangan ferromagnit xususiy magnitlanish

$$J_m = \kappa B_0$$

Tula magnit induksiyasi.

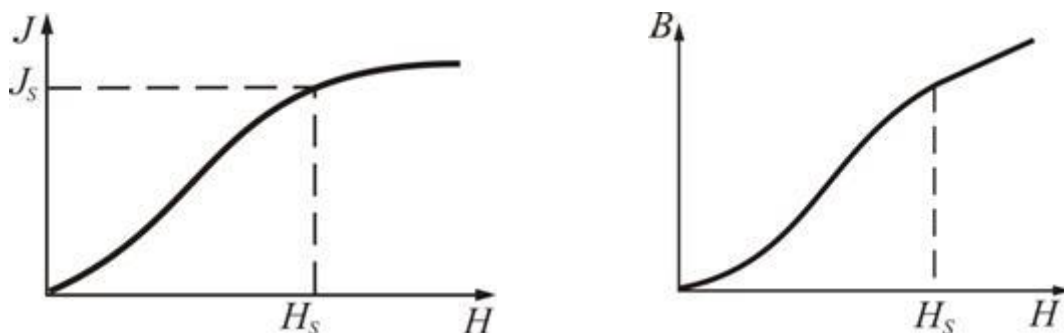
$$B = \mu_0 B_0$$

Bundan $\mu = 1 + \kappa = B/B_0$ magnit sindiruvchanlik deb yuritiladi. Buni hisobga olib:

$$B = \mu B_0 = \mu \mu_0 H \quad (2.57)$$

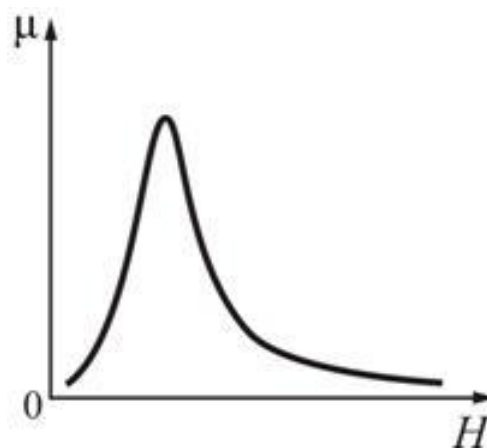
X.B.S da magnit maydon kuchlanganligi H – A/m. da magnit induksiyasi esa $Vb/m^2 = Tl$ larda o‘lchanadi.

Ferramagnitni xususiyatlari Stolitov tomonidan o‘rganilgan. Rasmda J – magnitlanish vektori va κ ni H ga bog‘liq holda o‘zgarish keltirilgan.



3.26-rasm

Maydon kuchlanganligi ortishi bilan J , B - ham tez ortadi va to‘yinish darajasiga erishadi.



3.27-rasm

Magnit qabul qiluvchanlik datlab H – ortish bilan keskin ortadi va max –ga erishdi. So‘ngra μ - ni ortishi bilan kamayadi.

$B = \mu_0 H + \mu_0 \chi H$ - ni hisobga olsak shu tufayli kuchli maydonda ferramagnit o‘zaklardan foydalanish maqsadga muvofiq emas.

Moddalarning magnit xossasini xarakterlovchi yana bir asosiy kattalik solishtirma magnit kirituvchanlik bo‘lib, uning qiymatiga ko‘ra barcha minerallar uch guruhga bo‘linadi.

1- guruh, kuchli magnit minerallar, ularda $\zeta > 2,8 \cdot 10^{-5} \frac{M^3}{K^2}$ bo‘ladi. Masalan, magnetit, frankletit, pirrotin

2- gurux, kuchsiz magnitli minerallar, ularda $1,26 \cdot 10^{-7} \frac{M^3}{K^2} \leq \zeta < 7,5 \cdot 10^{-5} \frac{M^3}{K^2}$ bo‘ladi.

Masalan, oksidlar, gidrooksidlar, volfrontlar

3- gurux, magnitsiz minerallar, ularda $\zeta < 1,26 \cdot 10^{-7} \frac{M^3}{K^2}$ bo‘ladi. Masalan, kvars, sirkon kabilar.

Magnit maydonida magnitli va magnitsiz minerallarni ajratish magnit kuchlarining o'zaro ta'siri natijasida amalga oshiriladi. Magnitli va magnitsiz minerallar turli xil traektoriya bilan xarakatlanadilar, natijada magnit singdiruvchanlikka ega jism magnit maydonda o'z-o'zidan magnitlanadi, ya'ni magnetik bo'lib qoladi va o'zi joylashgan asosiy magnit qutblari bilan ta'sirlashadi. Masalan, temir kabi yuqori magnit singdiruvchanlikka ega magnetiklar magnit qutblariga tortiladi. Magnit singdiruvchanlikka ega bo'lmagan kvars, gips kabi jismlarga magnit kuchlar ta'sir etmaydi, ular magnit qutblariga tortilmaydilar.

Magnit minerallarining doimiy yoki sun'iy magnitga tortilishidan magnit separatorlarda foydalaniladi. Magnit separatorlari – aralashmalardan magnit zarrachalari bor bo'lgan moddalarni ajratuvchi qurilmalardir. Magnit separatorlarda faqat bir jinsli bulmagan magnit maydon ishlatiladi. Elektromagnit separatorlarda o'zgarmas tok magnit maydoni hosil qiladi. Kuchli magnit minerallarni elektromagnit usulda boyitish ochiq qutbli magnit separatorlarda amalga oshiriladi.

Atom yadrolarining magnit momentlari

Atomning orbital momenti: 1911 – yil Rezerford α -zarrachalar bilan o'tkazgan tajribalardan ma'lum bo'ldiki, atom musbat yadrodan va uning atrofida ma'lum orbitallar bo'ylab aylanuvchi elektronlardan tashkil topgan. Elektronlar orbitasi bo'yicha ev -zaryad ko'chirib molekulyar tok hosil qiladi. Bu tokka mos kelgan magnit momenti:

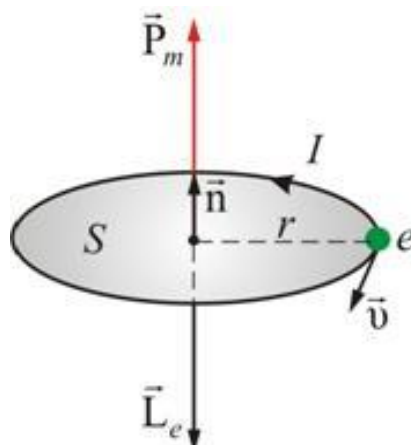
$$P_m = evS$$

Bu yerda ev -molekulyar tok. S -orbita konturi bo'lib $S = \pi r^2$ $v = \frac{v}{2\pi r}$ -chastota.

Bularni hisobga olib: $P_m = - \frac{evr}{2}$

P_m -orbital magnit moment deb yuritiladi.

Orbital magnit moment vektor kattalik bo'lib, tok yo'nalishi bilan o'ng vint qonuniga binoan aniqlanadi.



3.28-rasm.

Elektron yadro atrofida aylanib orbital mexanik moment (impuls) ga ham ega bo'ladi.

$$L_m = mvr$$

L_m -ni yo'nalish tezlik vektori bilan o'ng vint qonun qoidasini tashkil etib, P_m -yo'nalishi bilan qarama-qarshi yo'nalishda bir to'g'ri chiziq ustida yotadi.

Magnit momentini mexanik(impuls momentini)ga nisbati magnitomexanik (giromagnitik) nisbat deb yuritiladi

$$\Gamma = \frac{P_m}{L_m} = -\frac{e}{2m} \quad (2.58)$$

L_m -impuls moment tashqi magnit maydonida ixtiyoriy yo'nalgan bo'lib, kvant mexanikasi qonunlari yo'l qo'ygan diskrit yo'nalishlar oladi. Shunga ko'ra orbital magnit moment ham kvantlashgan bo'ladi.

$$L_m = \sqrt{l(l+1)}\hbar$$

$$P_m = -\frac{e}{2m} \hbar \sqrt{l(l+1)} = \mu_0 \sqrt{l(l+1)}$$

Bu yerda l -orbital kvant soni $l=0,1,2,3\dots(n-1)$

yoki

$$P_m = m/\hbar$$

$$P_m = m\mu_0$$

m -magnit kvant soni. $m=-1, \dots, 0, \dots, +1, \dots$; $m=(2l+1)$

$\mu_0 = \frac{e\hbar}{2m_e} = 9,27 \cdot 10^{-24} \text{ J/Tl}$ -Bor magnitigi deb yuritiladi va magnit

momentlarining tabiiy o'lchov birligi hisoblanadi.

Murakkab atomlar magnit momentlari "elementar" magnit momentlari geometrik yig'indisiga teng.

$$P_a = \sum_{\epsilon=1}^a P_m$$

a -davriy sistemadagi atomning tartib nomeri. Shuningdek orbital mexanik momenti ham.

$$L_a = \sum_{\epsilon=1}^a L_m$$

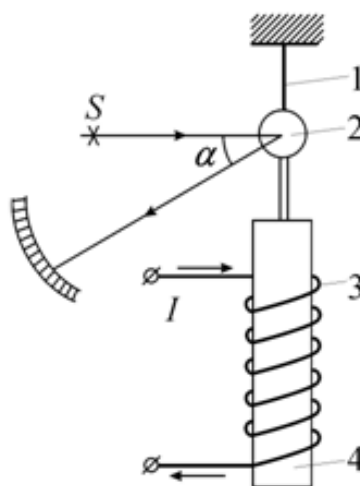
To'ldirilgan elektron qobiqlar uchun u nolga teng. Shu tufayli moddalarning magnitlanishda ishtirok etmaydi. Atom yadrosining magnit moment elektronning orbital, magnit momentidan deyarli ming marta bo'lib, hisobga olmasa ham bo'ladi. Faqat to'ldirilmagan elektron qobiqqa esa atomlarnigina orbital magnit momentiga ega bo'la olmaydi.

Eynshteyn – de – Gaaz tajribasi

Geromagnetik doimiylik (magnitomekhanik effekt) ni 1915-yilda Eynshteyn va de Gaazlar tajribada aniqladilar. 3-galtak (solenoid) ichiga joylashtirilgan temir o'zak – 4, elastik tola 1 ta osib qo'yilgan.

Temir o'zak magnitlanish tufayli buriladi.

2 – oynachadan qaytgan nurni og'ishini shkala yordamida o'lchash mumkin bo'ladi. Olingan ma'lumotlardan foydalanib geromagnetik nisbatni aniqlash mumkin.



3.29-rasm

Tajriba natijalari $G_e = -\frac{e}{2m_e}$ emas balki $\frac{e}{m_e}$ - ga teng ya'ni nazariy ma'lumotlardan ikki marta ortiq ekanligini ko'rsatadi.

Bu nomuvofiqliklarni bartaraf etish uchun 1925-yilda Yukava elektron yadro atrofida orbita bo'ylab harakatlanib orbital mexanik (impuls) L_m - momentiga va unga ois magnit momentiga ega bo'lishi bilan birga ya'ni xususiy mexanik (spin) momenti L_3 va u bilan bog'liq xususiy magnit momenti P_{ms} ga ham ega bo'ladi degan gepotizani ilgari surdi.

Spin – elektronni o'z o'ki atrofida aylanishi natijasida vujudga keladigan momentidir. Spin inglizcha «urchuq» (aylanmagan) – degan ma'noni bildiradi. Keyinchalik spin boshqa elementar zarrachalarda ham aniqlanadi. Lekin ko'p o'tmay aylanadigan elektron spin haqidagi gipotezadan voz kechishga to'g'ri keldi. «Spin» atamasi fanda saqlanib qoldi.

Aylanayotgan elektrik-sharik ($r \approx 2,89 \cdot 10^{-15} m$) bir magnitoniga teng magnet momentiga ega bo'lishi uchun, uni ekvatorial tezligi ... dan ortiq bo'lishi mumkin. Bu esa nisbiylik nazariyasi prinsiplariga ziddir.

Spin zarrachalarining m-massali, e-zaryadi kabi ularning tabiiy kvantomexanik hossasidir.

Elektron uchun spin-xususiy impuls momenti

$$L_S = \sqrt{S(S+1)}\hbar \quad (3.59)$$

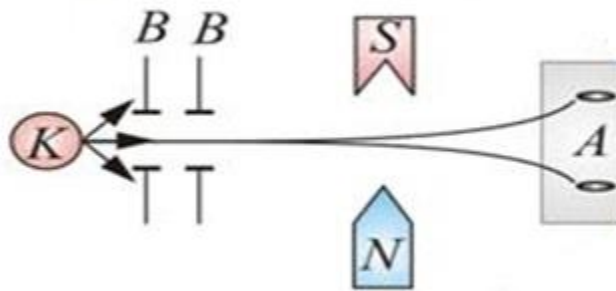
ga teng. S-spin kvant soni

Shterin-Gerlax tajribasiga muvofiq elektroni spini (impuls momenti) tashqi magnet maydonida yo'nalishlar olishi (orientatsiya) soni $2S+1=2$ dan ortiq emas.

Shu tufayli spin kvant soni $S = \pm \frac{1}{2}$ ga teng.

Shtern-Gerlax tajribasi

1921-yilda kimyoviy elementlarning magnet momentini aniqlash maqsadida quyidagi tajribani o'tkazdilar. Qurilmani asosiy qismining chap tomoni vodorod atomi(gazi) yoki davriy sistemani birinchi guruh elementlari atomlari bilaatom'ldirilgan uzun shisha nay. Diafragmadan o'tib ingichka dasta hosil qilgan atomlar bir jinsli bo'lmagan N, S- magnet maydoni orqali fotoplastinkaga tushib qayd qilinadi.



3.30-rasm

Ma'lumki, magnit maydonida harakatlanayotgan zarrachalarga

$$F = P_m(dB/dt)\cos\alpha$$

Kuch ta'sir etadi. Natija fotoplastinkada qayd etiladi. Atomlar $\cos\alpha$ ni o'zgarish sohasi $(-1\div 1)$ oralig'ida xira dog' hosil qilish lozim. Lekin rasmda ko'rsatilganidek ikkita keskin chiziq hosil bo'ladi.

Shtern-Gerlax tajribasidan quyidagi xulosalarni chiqarish mumkin.

- Atomlar magnit momentlari "Elementar moment"larning gemetrik yig'indisidan iborat bo'lib, u to'ldirilgan qobiqlar uchun nolga teng.
- tashqi qobiq elektronlarining magnit momentlari faqat kvant shartlari yo'l qo'ygan yo'nalishlarda xarakterlanadi.
- elektronning xususiy spini L_s va u bilan bog'liq P_{ms} –magnit momentga ega.

$$L_s = \sqrt{S(S + 1)}\hbar \quad (3.60)$$

-spin moment ham kvantlashgan bo'lib, Tashqi magnit maydonida faqat ikki magnit maydoni va unga qarama qarsh yo'nalishga ega

$$L_s = \pm 1/2\hbar$$

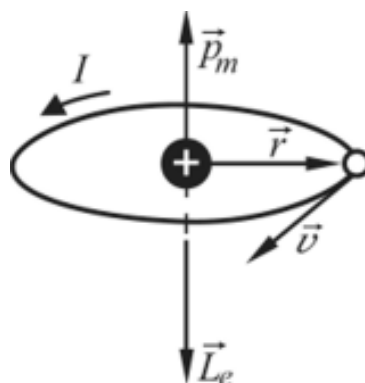
-elektron geramagnit doimiysi orbital geramagnit doimiylikdan ikki marta ortiq. $G_o = e/m_e$ ga teng.

Bu esa modalarning xususiyatlari spin xarakterga ega ekanligini ko'rsatadi. Modda atomlari va spin momentlari kompensatsiyalanib, doimiy magnet momentiga ega bo'lmasalar diamagnitliklar deyiladi. Doimiy magnet momentiga ega atom-molekulalardan tashkil topgan moddalar paramagnitliklar, ferromagnitliklar yoki ferritliklar deb yuritiladi.

Diamagnitliklar

Diamagnitliklar Taluqli magnet maydonida ta'sirida atom elektronlarining orbital harakatini o'zgarishi tufayli vujudga keladi keladi.

Elektron harakatini batafsil kuzatamiz



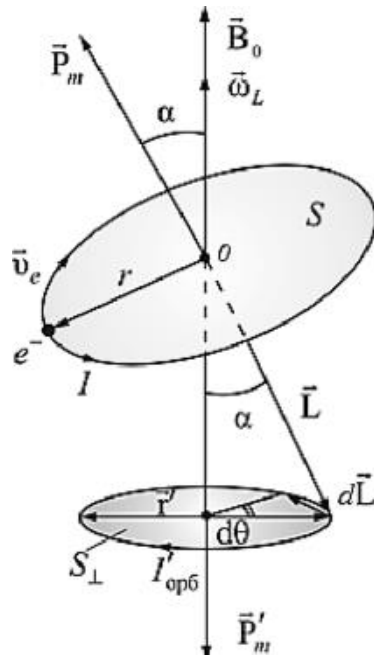
3.31-rasm

Tashqi maydon bo'lmaganda elektronga ta'sir etuvchi markazga intilma kuch :

$$F_m = m v_0^2 / r = m \omega^2 r \quad (3.61)$$

v_0 -----chiziqli tezlik ω_0 aylanma harakat tezligi

Magnet maydonida elektronga qo'shimcha Lorens kuchi $F_L = e v B_0$ ta'sir etadi. Bu kuch elektronni tezligini $v = \omega r - r e$ o'zgartiradi.



3.32-rasm

Elektron pretsissiyalanadi. Shu tufayli markazga intilma kuch:

$$m\omega_0^2 r = m\omega^2 r + e\omega_0 r B_0 \quad r \text{ ga qisqartirib}$$

$$m(\omega^2 - \omega_0^2) = e B_0 \omega_0 \text{ bu yerdagi } \omega^2 - \omega_0^2 = (\omega + \omega_0)(\omega^2 - \omega_0^2) \text{ va } \omega - \omega_0 = 2\omega_0$$

deb belgilab

$$\omega_L = \frac{e}{2m} B_0 \quad \text{Lormal chastota deb yuritiladi elektron harakatining}$$

o'zgarishiga ΔI - tok ekvivalentdir

$$\Delta I = -e\gamma_L = -e \frac{\omega_L}{2\pi} = -\frac{e^2}{4m\pi} B_0 \quad \gamma^{\nu_L} = \frac{\omega_L}{2\pi}$$

Bo'lib - ishora elektron zaryadining manfiyligidan darak beradi $\gamma_L \omega_L$ Lormal chastota. Bu qo'shimcha tok qo'shilishicha magnit momentni hosil qiladi.

$$\Delta P_m = \Delta I S \quad \text{hisoblashlarcha ko'ra } s = \frac{2}{3} \pi R^2 \text{ Buni hisobga olib,}$$

$$\Delta P_m = - \frac{E^2 B_0}{6m} \sum r^2$$

hosil qilamiz.

n - hajim birligidagi atomlar soniga ko'paytib magnitlanish vektori uchun

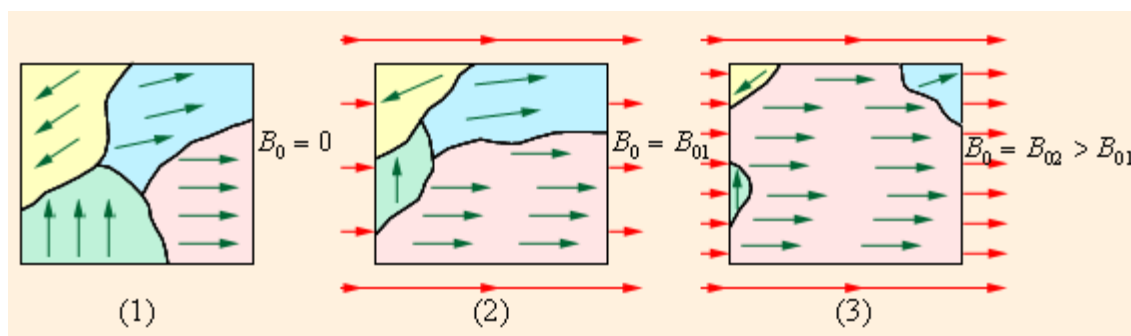
$$J = n\Delta P = \frac{ze^2 rn}{6m} B_0 \quad (3.62)$$

Hisoblashlar tajriba natijalariga juda mos tushadi

$$\chi = \frac{J}{B_0} = - \frac{e^2 r^2 n}{6m} Z$$

Ferromagnitlar tashqi magnit maydoni bo'lmaganda ham kuchli magnitlanish qobiliyatiga ega bo'lgan molekulalardan tarkib topgan moddalar ferromagnitlar hisoblanadilar.

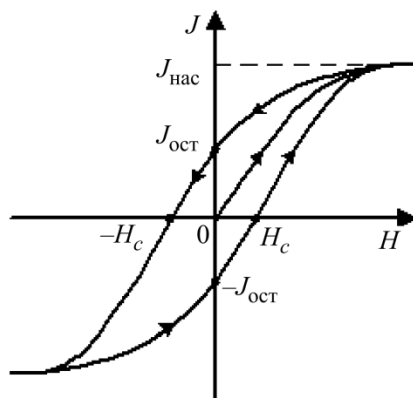
Moddalarning ferromagnit xususiyati kristallar uchun bo'lib ma'lum sharoitda elektronlarning magnit momentlari o'zaro parallel joylashgan elementlar hajm "domen" lardan tashkil topgan bo'ladi. Tashqi maydon bo'lmaganda domenlar tartibsiz joylashgan bo'lib magnit namoyon qilmaydi.



3.33-rasm

Ferromagnitlar tashqi magnit maydonida kuchli magnitlarni hosil qilib quyidagi hossalarga ega:

1. Odatdagi sharoitda ferromagnit moddalarning magnit kirituvchanligi juda yuqori bo'ladi;



3.34-rasm

2. Magnitlanish vektori magnit maydon kuchlanishiga bog'liq holda o'zgarib u gisterezis hodisasi orqali tushuntiriladi;

3. Ferromagnit moddalarning magnitlanish maydon kuchlanishining chiziqi bo'lmagan funksiyasi bo'lib paramagnitlarga nisbatan 10 – marta kuchli

4. Ferromagnit moddalar uchun temperaturani shunday ma'lum intervali mavjudki undan yuqori temperaturalarda ferromagnitlik xususiyati yo'qoladi.

Koersativ kuchi kichik bo'lgan moddalar yumshoq ferromagnitlar deyiladi va ulardan transformator o'zaklari yasashda foydalaniladi.

3.10. Elektromagnit induksiya hodisasi

Faradey elektr va magnit hodisalarni o'zaro chambarchas bog'liq deb hisoblab magnit maydonining elektr ta'sirini o'rganish bo'yicha juda ko'p tajribalar o'tkazdi. Yillar davomida kuni bilan o'tkazilgan tajribalar natijasida 1831-yil elektromagnit induksiya hodisasini kashf etdi. Har qanday o'tkazuvchan berk konturda u o'rab to'rgan sirt orqali o'tayotgan magnit oqimi o'zgarganda shu konturda tok hosil bo'lishi aniqlandi. Bu hodisa elektromagnit induksiya hodisasi, tok esa induksion tok deb yuritiladi.



3.34-rasm

Lens induksion tok yo'nalishini aniqlashga imkon beruvchi tajribani 1833-yilda amalga oshirdi.

Agar doimiy magnit qutblardan biri berk halqaga yaqinlashtirilsa, halqada induksion tok hosil bo'lib, bu tokning magnit maydoni doimiy magnit maydonini kompensatsiyalaydi, sistema muvozanat vaziatidan og'adi.



3.35-rasm

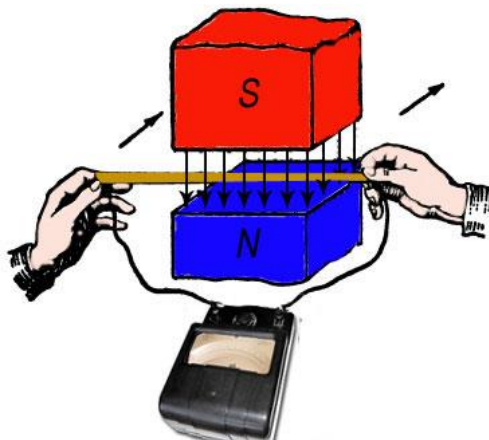
Tajriba natijalarini umumlashtirib induksion tok shunday yo'nalgan deyish mumkinki uni hosil qilgan magnit maydon induksiyasi, induksion tokni vujudga keltirayotgan magnit induksiasini hamma vaqt konsepsiyalaydi.

3.11. Induksiya elektr yurituvchi kuch

Faradey tajribalaridan ma'lumki , magnit oqimining o'zgarishini konturda tokni induksiyalaydi. Demak konturda induksiya elektr yurituvchi kuch hosil bo'ladi. Magnit maydonida konturning $d\mathbf{l}$ elementi, shuningdek uning tarkibidagi

zaryadli zarrachalar ham shu tezlik bilan ko'chadi. Ularga Lorens kuchi ta'sir

etishi tufayli: $F_n = e\mathcal{E}B$ $F = qE = eE$ $F_A = F$



3.36-rasm

Kuchlanganligi $E=vB$ ga ekvivalent noelektrostatik maydon hosil bo'ladi. Bu maydon kuchlanganligining kontur bo'yicha sirkulyatsiyasi induksiya EYuK ni hosil qiladi:

$$\varepsilon_S = \oint_L E_l dl = \oint_L vBdl \cdot \frac{dt}{dt} \tag{3.63}$$

3.12. O'zinduksiya hodisasi

Istalgan berk konturdan o'tayotgan o'zgaruvchan tok shu kontur bilan chegaralangan sirtni kesib o'tuvchi o'zgaruvchan magnit induksiya oqimini hosil qiladi. Natijada shu konturda tok induksiyalanadi. Shunday qilib tokni o'zgarishi tufayli shu konturning o'zida induksion EYuK ning hosil bo'lish hodisasiga o'zinduksiya hodisasi deb yuritiladi.

Magnit oqimi magnit induksiyasi va tok kuchiga to'g'ri proporsionaldir.

$I=IA$ bo'lganda, berilgan kontur bo'yicha magnit oqimi qanchaga o'zgarganda ko'rsatadigan L-kattalik konturning induktivligi deyiladi. Ma'lumki, solenoid maydoni induksiyasi $B = \mu\mu_0 nI$ har bir o'ram orqali o'tgan oqim

$$\Phi = N\Phi^1 = N\mu\mu_0 n \cdot IS$$

(3.64)

Uzunlik birligidagi o'ramlar soni $n = \frac{N}{l}$ dan foydalanib:

$$\Phi = \mu\mu_0 \frac{N^2}{l} \cdot SI \quad \text{ni hosil qilamiz.}$$

Tok kuchi 1 sekundda 1A ga o'zgarganda uchlarida IB induksiya EYuK hosil qiladigan g'altakning induktivligi 1Genri bo'ladi

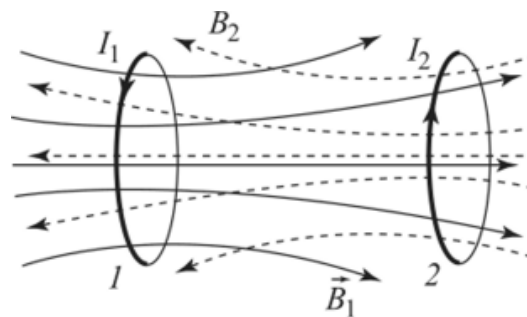
3.13. O'zaro induksiya hodisasi

Bir-biriga yaqin joylashganiqita qo'zg'almas konturni kuzatamiz. Agar konturlardan biridagi toki ikkinchi kontur qamrab olgan sirt orqali hosil qilgan magnit oqimi Φ_{21} deb belgilansa $\Phi_{21} = L_{21}I_1$

Bu yerda L_{21} proporsionallik koeffisiyenti.

Faradey qonuniga muvofiq I_1 ning o'zgarishi ikkinchi konturda EYuK ni hosil qiladi:

$$\varepsilon_{12} = -\frac{d\Phi_{21}}{dt} = -L_{21} \frac{dI_1}{dt} \quad (3.65)$$



3.37-rasm

Xuddi shuningdek ikkinchi konturdagi tok I_2 birinchi kontur qamrab olgan sirt orqali

$$\Phi_{12} = L_{12}I_2 \quad (3.66)$$

Magnit oqimini hosil qiladi.

Agar ikkinchi konturdagi tok o'zgaruvchan bo'lsa, birinchi kontur hosil bo'lgan induksiya EYuK Φ_{12} – ning o'zgarish tezligiga proporsional bo'ladi.

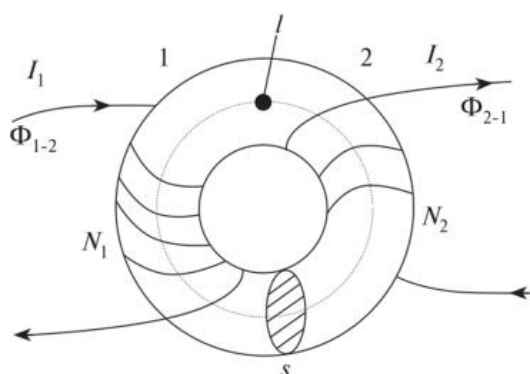
$$\varepsilon_{11} = -\frac{d\Phi_{12}}{dt} = -L_{12} \frac{dI_2}{dt} \quad (3.67)$$

Konturdan birida tok kuchining o'zgarishi, ikkinchisida induksiya EYuK – ni vujudga keltirishi o'zaro induksiya hodisasi deb yuritiladi.

Tajribalar ko'rsatishicha o'zaro induktivlik koefitsiyentlari bir-biriga teng bo'ladi.

$$L_{12} = L_{21}$$

Umumiy o'zakka kiritilgan ikkita g'altakning o'zaro induktivlik koefitsiyentini hisoblaymiz (3.38 - rasm).



3.38-rasm

Birinchi g'altakning magnit induksiyasi.

$$B = \mu\mu_0 \frac{n_1 I_1}{l} \quad (3.68)$$

Bu yerda , μ - o'zak moddasining magnit doimiysi n_1 - o'ramlar soni.

Ikkinchi g'altakning bitta o'rami orqali o'tgan magnit oqimi.

$$\Phi_2 = BS = \mu\mu_0 \frac{I_1 n_1}{l} \cdot S \quad (3.69)$$

To'la oqim

$$\Phi = \Phi_2 n_2 = \mu\mu_0 \frac{n_1 n_2 I_1}{l} \cdot S \quad (3.70)$$

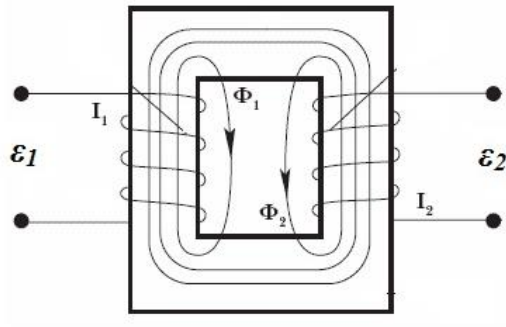
O'zaro induktivlik koeffitsiyenti:

$$L_{21} = \frac{\Phi}{I_1} = \mu\mu_0 \frac{n_1 n_2}{l} \cdot S \quad (3.71)$$

Xuddi shu usul bilan birinchi g'altakning o'zaro induktivlik koeffitsiyentini ham (3.72) ifodaga teng ekanligini isbotlash mumkin.

$$L_{12} = \frac{\Phi}{I_2} = \mu\mu_0 \frac{n_1 n_2}{l} \cdot S \quad (3.72)$$

O'zaro induktivlik hodisasidan olis masofalarga elektr energiyasini uzatish moslamalari (transformatorlar) tayyorlashda foydalanadi. Transformatorlar ramka shaklidagi o'zakka kiritilgan ikkita n_1 va n_2 o'ramlarf g'altakdan iborat bo'ladi. (3.39-rasm).



3.39-rasm

Agar transformatorning birlamchi cho'lg'ami o'zgaruvchan tok manbaiga ulansa, undan tok o'tib o'zgaruvchan magnit oqimi hosil qiladi. Bu o'zgaruvchan magnit oqimi ikkilamchi cho'lg'am o'ramlari kesib o'tadi, o'zaro induksiya EYuK ning algebraik yig'indisi orqali aniqlanadi:

$$\varepsilon = -\frac{d}{dt}(n_1\Phi) = I_1 R_1 \quad (3.73)$$

Bu yerda , R_1 -birlamchi chulg'am qarshiligi bo'lib , tez o'zgaruvchan maydon uchun kichik miqdor bo'lib hisoblanadi. Shu tufayli

$$\varepsilon \approx n_1 \frac{d\Phi}{dt} \quad (3.74)$$

Ikkinchi chulg'amdagi induksiya EYuK.

$$\varepsilon_{12} = -\frac{d(n_2\Phi)}{dt} = -n_2 \frac{d\Phi}{dt} \quad \varepsilon_2 = -\frac{n_2}{n_1} \varepsilon_1 \quad (3.75)$$

(3.75) dagi munis ishora birlamchi va ikkilamchi cho'lg'amdagi toklar faza jihatidan qarama-qarshi ekanligini bildiradi. $\frac{n_2}{n_1}$ - nisbat transformatsiyalash koeffitsiyenti deb nomlanadi.

Agar $\frac{n_2}{n_1} > 1$ bo'lsa, transformator yuksaltiruvchi, aksincha, bo'lsa $\frac{n_2}{n_1} < 1$

pasaytiruvchi bo'ladi.

Fuko toklari

Induksion toklarning bir ko'rinishi o'zgaruvchi magnit maydonga kiritilgan massiv o'tkazishlarda va yarimo'tkazgichlarda paydo bo'ladi. Demak, bunday hollarda yopiq zanjir bilan ulanmagan o'tkazgich yoki yarim-o'tkazgichlarning o'zida induksion tok hosil bo'lar ekan va bu toklar o'tkazgich yoki yarimo'tkazgichning ichida yopiq zanjirni hosil qiladi, ya'ni bunday induksion toklar uyurmaviy tokdan iboratdir. Shuning uchun bu toklarni uyurmaviy toklar deb ataladi. Ammo bu tokni birinchi bo'lib fransuz fizigi Fuko aniqlagan va uning sharafiga Fuko toklarni deb ataladi.

Fuko toklarning yo'nalishi Lens qoidasiga asosan aniqlanadi. O'tkazgich magnit maydoniga harakat qilganda ham Fuko toklari hosil bo'ladi. Fuko toklari ham uni hosil qilgan sababga qarshilik ko'rsatadi. Magnit maydonda harakat qilayotgan o'tkazgichlarning ichida hosil bo'lgan Fuko toklari o'tkazgichni to'xtatishga harakat qiladi, ya'ni Fuko toklari bunday hollarda shunday yo'nalgan bo'ladiki, u hosil qilgan magnit maydon induksiya vektoriga qarama-qarshi yo'nalgan bo'ladi. Shuning uchun Fuko toklarining bu hossalardan sezgir o'lchov asboblarning harakatlanuvchi qismlarni tezroq muvozanat (tinch) holatga keltirish uchun qo'llanadi. Masalan, elektr o'lchov asboblardan galvonometr, sezgir dempferli tarozilarda (sezgirligi 10^{-9}g/sm^2) qo'llanadi. Agar dempferli tinchlargichlardan foydalanilmasa, o'lchnadigan kattaliklarning qiymatini ketma-ket o'lchab borish juda qiyin bo'ladi, chunki o'lchamlar uchun belgilangan vaqt intervaliga (masalan 30, 60, 90 s...) haqiqiy qiymatlarni mos kelmaydi. Sezgir asboblarning harakatchan qismi, bir o'zgarsa, uzoq vaqtgacha harakat qilib (tebranib) turadi.

Fuko toklarning bunday hollarda qo'llanishiga yana bir asosiy sababi, o'lchov asboblari hech qanday qo'shimcha xatolik kiritmaydi, ya'ni salbiy ta'sir ko'rsatmaydi. Fuko toklari faqat harakat qilgan paytdagina vujudga keladi. Fuko toklari texnikada ham juda keng qo'llaniladi, chunki Fuko toklarining qiymati juda katta ham bo'lishi mumkin. Masalan, qiyin eriydigan metallar, yarimo'tkazgichlarni (kremniy, germaniy) eritishda hamda ularni keraksiz aralashmalardan tozalashda Fuko toklaridan foydalaniladi.

Induksion pechlar deb ataluvchi pechlar yordamida Fuko toklaridan issiqlik manbai sifatida foydalaniladi. Induksion pechlar yuqori temperaturaga chidamli silindr shakldagi izolyator jismining sirtiga zich qilib, albatta, bir – biriga tegizmasdan solishtirma elektr qarshiligi katta bo'lgan, (masalan, nixrom) sim o'raladi. Tashqariga issiqlik kamroq sarf bo'lishi uchun simning ustidan issiqlikni kam o'tkazadigan material bilan qoplanadi. Natijada hosil bo'lgan solenoidni eslatuvchi qurilma induksion elektr pechi deb ataladi.

Induksion pechga yuqori chastotali katta tok kuchiga ega bo'lgan manbaga pechning ichki qismiga (silindrning ichiga) yarimo'tkazgich materiali (kremniy) quyiladi. Yarimo'tkazgichda hosil bo'lgan Fuko (uyurmaviy) toklar ta'sirida, hatto kremniyni ham eritib yuborishgacha qizdirish mumkin. Shu narsani ta'kidlash kerakki, induksion pechdan oqib o'tayotgan tokni o'zgartirib, Fuko toklarini o'zgartirish mumkin.

Ko'p hollarda tehnikada Fuko toklari salbiy ta'sir ko'rsatadi. Masalan, transformatorlarning o'zaklarida Fuko toklari hosil bo'lishi natijasida qizib ketadi. Shuning uchun, massiv o'tkazgich o'rniga plastinka shaklidagi o'zaklar ishlatiladi, ular o'zaro izolyatorlar bilan ajratilgan bo'ladi.

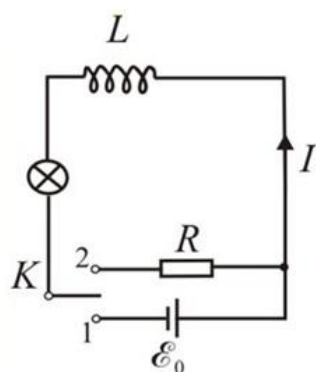
Zanjirni ushlab va uzish paytidagi tok

Lens qoidasiga asosan o'tkazgichlarda o'zinduksiya hodisasi natijasida paydo bo'lgan qo'shimcha toklar zanjirdagi asosiy tokning o'zgarishiga qarshilik

ko'rsatish tomoniga yo'nalgan bo'ladi. Agar haqiqatan ham shunday bo'ladigan bo'lsa, bu hodisani quyidagi tajribada kuzatish mumkin. 7.3-rasmdagi zanjirni ulashva uzish paytida toklarning xarakterini kuzatish bilan o'zinduksiya hodisasining namoyon bo'lishini ko'ramiz.

Induksion tok ulash paytida hosil bo'lsa, zanjirdagi tok o'zining maksimal qiymatiga bir onda emas ma'lum bir vaqtdan keyin o'z qiymatiga erishadi, buni ampermetr (A) orqali kuzatish mumkin.

Uzish paytida induksion tok hosil bo'lsa, zanjirdagi tok bir onda nolga teng bo'lmasdan bir oz vaqtdan keyin nolga teng bo'ladi. Uzish va ulash paytida zanjir inertlik xarakterga ega bo'ladi.



3.40-rasm

Birinchi zanjirni uzish paytida tokning o'zgarish xarakterini ko'rib chiqamiz. Zanjirdan oqayotgan tok kuchi RL konturning aktiv qarshiligi juda kichik bo'lgani uchun, quyidagi teng bo'ladi, ya'ni

$$I_0 = \frac{\varepsilon}{R} \quad (3.76)$$

$t=0$ momentda zanjirni uzib o'sha paytda kalitni (K) (3.76) – holatga ulaymiz. Zanjirdagi tok kuchi kamayishi bilan o'zinduksiya EYuK (g'altakda) paydo bo'ladi va tokning kamayishiga qarshilik ko'rsatadi. Bu holatda zanjirdagi tok kuchi (3.77) tenglama bilan ifodalanadi.

$$IR = \mathcal{E}_s = -L \frac{dI}{dt}, \quad (3.77)$$

$$\frac{dI}{dt} + \frac{R}{L} I = 0 \quad (3.78)$$

yoki

$$\frac{dI}{I} + \frac{R}{L} dt = 0. \quad (3.79)$$

(3.79) tenglamani integrallab

$$\ln I = -\frac{R}{L} t + \ln \text{const}, \quad (3.80)$$

$$I = I_0 e^{-\frac{R}{L} t} \quad (3.81)$$

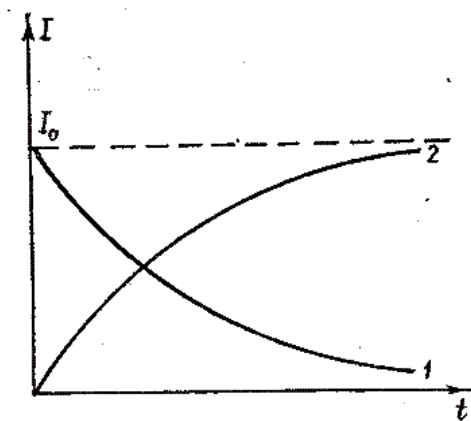
larni hosil qilamiz.

Shunday qilib, batareyani uzgandan keyin, zanjirdagi tok eksponensial ravishda kamayar ekan.

Daraja ko'rsatkichi har doim o'lchamsiz kattalik bo'lishi shart, shuning uchun

R/L ning birligi $1/c$ bo'ladi yoki $\tau = \frac{L}{R} [c]$. τ tok kuchi «e» marta o'zgarishi uchun ketgan vaqt b. Agar $L \gg R$ bo'lsa, $\tau \gg 1$ bo'ladi. Demak, zanjirning inertligini xarakterlaydi, I quyidagicha ifodalanadi,

$$I = I_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (3.82)$$



3.41-rasm

Endi zanjirni ulash paytidagitokning xarakterini tekshiramiz. EYuK ni ulagandan keyin, tok kuchi maksimal (I_0) qiymatiga yetguncha zanjirda induksion EYuK ham paydo bo'ladi. Bu holda Om qonuni quyidagicha yoziladi, ya'ni:

$$IR = \mathcal{E} + \mathcal{E}_S = \mathcal{E} - L \frac{dI}{dt}, \quad (3.83)$$

$$\frac{dI}{dt} + \frac{R}{L} I = \frac{\mathcal{E}}{L}. \quad (3.84)$$

(3.84) bir jinsli differensial tenglama bo'lib uning yyechimi quyidagiga teng bo'ladi:

$$I = I_0(1 - e^{-t/\tau}) \quad (3.85)$$

Va uning grafigi (3.41-rasm) da berilgan.

Zanjirga EYuK manbai ulangan paytda undagi tok o'zining maksimal qiymatiga erishmaydi.

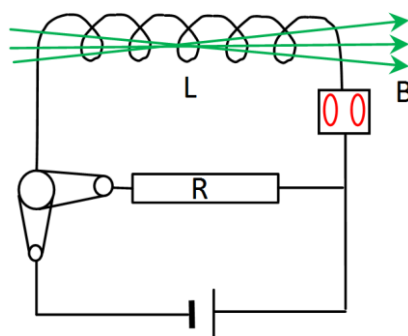
Asta – sekin oshib borib ma'lum vaqtdan keyin I_0 ga teng bo'ladi. O'sish qonuniyati (3.85) tenglama bilan aniqlanadi.

Zanjirdagi uzish (3.81) va ulash (3.82) paytidagi toklarning o'zgarish xarakteri shuni ko'rsatadiki, ikkala holda ham induksion EYuK (induksion tok) hosil bo'lar ekan.

3.14. Magnit maydon energiyasi

Elektr maydon energiyaga ega bo'lishi va energiya qayerda joylashishi, va energiya tashuvchilar nima ekanligini yuqorida ko'rib o'tdik. Magnit maydon haqida ham xuddi shunday ma'lumotlarga ega bo'lishimiz mumkin.

Buning uchun 3.42-rasmdagi zanjirni ko'rib chiqamiz. Zanjir aktiv qarshilik R g'altak (solenoid) va EYuK lardan iborat.



3.42-rasm

Zanjir yopiq holda to'rgan paytda g'altakdan I tok o'tib turadi va magnit maydon hosil bo'ladi.

Agar kalitni uzsak dt vaqtgacha R qarshilikdan kamayib boruvchi tok oqa boshlaydi. Bu tokning manbai g'altakdagi o'zinduksiya EYuK dir. Bu tok qarshilik orqali o'tganda dA ish bajaradi. Bu ish quyidagicha aniqlanadi

$$dA = \mathcal{E}_s I dt. \quad (3.86)$$

ikkinchi tomondan, bu ish Joul-Lens qonuniga asosan R qarshilikda ajralib chiqqan issiqlik miqdoriga teng bo'ladi:

$$dQ = dA = I^2 R dt = \mathcal{E}_S I dt. \quad (3.87)$$

Batareya ulangan paytda R qarshilik orqali I tok kuchi o'tib to'rgan paytda ajralib chiqqan issqlik miqdoriga quyidagicha aniqlanadi:

$$dQ_1 = dA_1 = I^2 R dt = \mathcal{E} I dt. \quad (3.88)$$

(3.88) ifoda batareyaning energiyasi issiqlik energiyasi aylanganligini ko'rsatadi. dQ_1 va dQ larning hosil bo'lishining fizikasi aynan bir hil, biror maydon (kuch) ta'sirida zanjirda tok paydo bo'ladi, hosil bo'lgan tokning zanjir bo'ylab oqishi o'sha maydon energiyasi batamom issiqlik energiyasiga aylanguncha davom etadi. Bundan shunday hulosaga kelamizki, magnit maydoni ham energiyaga ega bo'lar ekan, bu energiya

$$dW = dQ \quad (3.89)$$

ga teng bo'ladi. (3.89) dan foydalanib dW ni quyidagicha ifodalaymiz:

$$dW = \mathcal{E}_S I dt. \quad (3.90)$$

Elektromagnit induksiya qonuniga asosan, \mathcal{E}_S (3.90) ga teng bo'ladi,

$$\mathcal{E}_S = -\frac{d\Phi}{dt} \quad (3.91)$$

O'zinduksiya hodisasidan foydalanib quyidagilarni hosil qilamiz:

$$d\Phi = L dl, \quad (3.92)$$

$$\mathcal{E}_S = -L \frac{dl}{dt}, \quad (3.93)$$

$$dW = -L \frac{dl}{dt} I dt, \quad dW = -L I dl, \quad (3.94)$$

$$W = - \int_L^0 LI dI = \frac{LI^2}{2}, \quad (3.95)$$

$$\Phi = LI, \quad (3.96)$$

$$W = \frac{1}{2} LI^2 \quad (3.97)$$

Uzunlik birlikdagi o'ramlar sonini kiritib va (3.97) ni hisobga olib (3.97) va (3.98) lardan magnit maydon energiyasi uchun :

$$L = \mu\mu_0 \frac{n^2V}{2} \quad (3.98)$$

$$W = \mu\mu_0 \frac{n^2V}{2} I^2 \quad (3.99)$$

(3.99) – da $H = nI$ solenoid magnit maydon kuchlanganligi.

$$W = \frac{\mu\mu_0 H^2}{2} V \text{ yoki } W = \frac{BH}{2} V \quad (3.100)$$

(3.100) magnit maydon energiyasining ifodasidir.

Ba'zan energiya zichligi tushunchasida ham foydalaniladi. Hajm birligidagi energiya miqdoriga son jihatidan teng kattalik energiyaning hajmiy zichligi deb yuritiladi. Magnit maydon energiyasining hajmiy zichligi :

$$\omega = \frac{W}{V} = \frac{BH}{2} = \frac{B^2}{2\mu\mu_0} = \frac{\mu\mu_0 H^2}{2} \quad (3.101)$$

Energiya zichligini bilgan holda istalgan nuqtadagi energiya aniqlanishi mumkin:

$$W = \int_V \omega dV = \int_V \frac{\mu\mu_0 H^2}{2} dV = \int_V \frac{B^2}{2\mu\mu_0} dV \quad (3.102)$$

Elektromagnit maydon

3.15. Uyurmaviy elektr maydon. Maksvell tenglamalari.

Tok induksiyalanayotgan o'tkazgichli kontur qo'zg'almas magnit oqimning o'zgarishi esa magnit maydonning o'zgarishi natijasida yuzaga keladigan hol uchun elektromagnit induksiya hodisasini ko'rib chiqaylik. Induksion tokning hosil bo'lishi konturda induksion elektr yurituvchi kuchning hosil bo'lishidan dalolat beradi. Bu chetki kuchlarning manbai induksion tok hosil bo'layotgan konturda ro'y berayotgan kimyoviy, issiqlik va magnit maydon kuchlariga, Lorens kuchiga tegishli emas. Bu turdagi kuchlar zanjirga ulanmagan, Lorens kuchi esa bu holda zaryadlarning harakatga kelishida ular ustidan ish bajarmaydi. Ana shu mulohazalarga asosan Maksvell konturda hosil bo'layotgan chetki kuchlar o'tkazgishlarda paydo bo'lgan o'zgaruvchi elektr maydonga bog'liq degan xulosaga keladi. Maksvellning xulosasiga asosan bu o'zgaruvchi elektr maydon kuchlanganligi E_e ning sirkulyatsiyasi nolga teng bo'lmasdan, induksiya elektr yurituvchi kuchiga E_t ga teng bo'ladi:

$$\oint E_t dl = \mathcal{E}_i$$

Faradey qonuniga asosan induksiya EYuK \mathcal{E}_i quyidagi teng bo'ladi ,

$$\mathcal{E}_i = - \frac{d\Phi}{dt}, \quad (3.103)$$

$$d\Phi = B_n dS \quad (3.104)$$

bo'lganligi uchun uni yopiq sirt bo'yicha integrallab,

$$\Phi = \oint B_n dS \quad (3.105)$$

ni hosil qilamiz. (3.104) ni (3.105) ga qo'yib quyidagini hosil qilamiz:

$$\mathcal{E}_i = -\frac{d}{dt} \oint B_n dS = \oint_S \left(\frac{\partial B}{\partial t}\right) dS \quad (3.106)$$

$$(dS = dS \cdot n, n - \text{ birlik o'lchamsiz vektor})$$

(8.5) va (8.1) tenglamalarning aynan tengligidan quyidagi ifodani yozamiz :

$$\oint E_l dl = \oint_S \left(\frac{\partial B}{\partial t}\right) dS \quad (3.107)$$

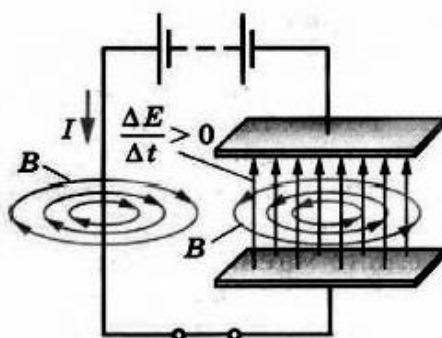
Bu tenglama Maskvellning birinchi tenglamasi deb ataladi.

Bu holda maydonning o'zgarishi uyurmaviy elektr maydonni hosil qiladi. Elektr maydon kuchlanganligi chiziqlari yopiq bo'ladi. O'zgaruvchi magnit maydon hosil qilgan elektr maydon uyurmaviy xarakterga ega bo'lar ekan. Demak, elektr maydon

3.16. Siljish toki

Elektromagnit maydonni xarakterlashda Maksvell siljish toki tushunchasidan foydalanadi. Ma'lumki, magnit maydonni faqat elektr toklari vujudga keltiradi. O'zgaruvchan magnit maydonni hosil qila oladigan uyurmali elektr maydonni Maksvell siljish toki deb atadi. Siljish tokining vujudga kelishi uchun zarrachalarning tartibli ko'chishi emas, balki o'zgaruvchan elektr maydoni bo'lishi kifoyadir.

O'zgaruvchan tok manbaiga ulangan kondensatordan iborat zanjirni kuzatamiz (3.43-rasm).



3.43-rasm

Kondensator zaryadlanib, razryadlanib turishi tufayli qoplamalar orasidagi elektr maydoni ham davriy o'zgarib turadi. Siljish toki o'zgaruvchanlik toki chiziqlarini o'tkazgich-dielektrik chegarasida uzmay, balki uni faqat dielektrik ichida, hatto vakuumda ham tutashtirib yuboradi. Siljish toki ham o'tkazuvchanlik toki kabi magnit maydoni hosil qiladi. Siljish tokining magnit maydoni hosil qilishni Eyxenbold tajribada aniqlagan. Maksvell nazariyasiga ko'ra o'tkazuvchanlik toki zichligini siljish toki zichligiga teng deya olamiz:

$$J_u = J_s \quad (3.108)$$

$$j_u = \frac{dl}{dS} = \frac{1}{dS} \cdot \left(\frac{dq}{dt} \right) = \frac{d}{dt} \left(\frac{q}{dS} \right) = \frac{d\sigma}{dt} \quad (3.109)$$

Gauss teoremasiga bog'liq elektr siljish vektori D ni zaryadning sirt zichligi δ ga tengligini isbotlash mumkin.

Induksiya vektori D ortadi bunda $\partial D / \partial t > 0$ bo'lishi kuzatiladi hamda siljish vektori D – ni , zaryadning sirti zichligi σ - ga tenglamani isbotlash mumkin.

$$\oint_{bl} D dS = \Sigma q_1 \quad q_1 = \sigma dS$$

$$\oint_N D dS = \Sigma q_1 = \oint_S \sigma dS \quad D = \sigma \quad (3.110)$$

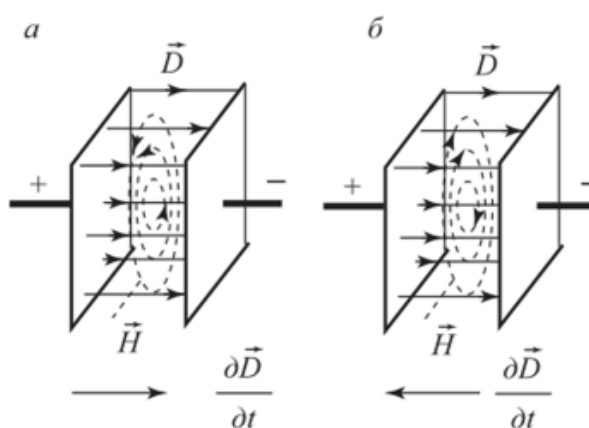
(3.110) ni hisobga olib , siljish toki zichligi uchun :

$$J_c = \partial D / dt \quad (3.111)$$

Bundan siljish toki va u hosil qilgan magnit maydon faqat elektr siljish vektori D ning o'zgarish tezligiga proporsionaldir degan xulosa kelib chiqadi. Endi siljish tokining yo'nalishini aniqlaymiz. Kondensator zaryadlanishida tok o'nbngdan chapga oqadi.

Induksiya vektori D ortadi, bunda $\partial D/\partial t > 0$ bo'lishi kuzatiladi hamda siljish vektori D bilan J vektori mos tushadi. Siljish toki zichligining vektori o'tkazuvchanlik vektori bilan bir tomonga yo'nalgan bo'ladi (3.44-rasm).

Kondensator razryadlanishida tok chapdan o'ng tomonga oqib, elektr siljish vektri kamayadi, $\partial D/\partial t < 0$ bo'ladi. Siljish vektorining o'zgarish tezligi D -vektoriga qarama – qarshi yo'nalgan bo'ladi. Siljish toki zichligi vektori o'tkazuvchan tok zichligi vektori J_c o'tkazuvchanlik tok zichligi $J_{o't}$ vektori bilan mos tushadi.



3.44-rasm

Agar qoplamalar orasida dielektrik modda joylashtirgan bo'lsa elektr siljish vektori:

$$D = \varepsilon_0 E + P \quad (3.112)$$

E – elektr maydon kuchlanganligi; P – qutblanish vektori.

(3.112) ni (3.111) ga qo'yib, tok zichligi uchun:

$$J_s = \frac{\partial D}{\partial t} = \frac{\partial(\varepsilon_0 E + P)}{\partial t} = \varepsilon_0 \frac{\partial E}{\partial t} + \frac{\partial P}{\partial t} \quad (3.113)$$

(3.113) – ning birinchi hadi vakuumda siljish toki zichligini ifodalaydi, ikkinchi hadi esa dielektrikdagi zaryadlarning siljishi tufayli vujudga kelgan qutblanish toki zichligini bildiradi. Shunday qilib, o'tkazuvchanlik toki va siljish

toki bir-biridan ajralmagan holda bir butunlikni tashkil etadi. Shu tufayli to'la tok zichligi – o'tkazuvchanlik va siljish toklarning yig'indisidan iborat bo'ladi:

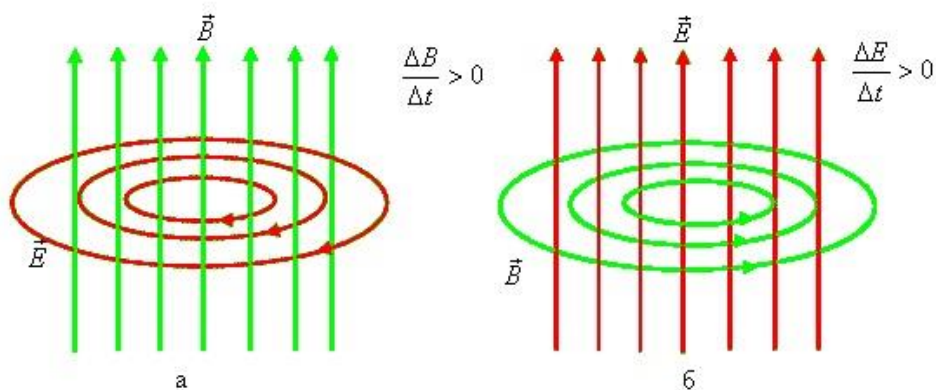
$$J_T = J_u + J_s = J_u + \frac{\partial D}{\partial t} \quad (3.114)$$

Buni hisobga olib, Gauss teoremasini magnit maydon kuchlanganlik vektori uchun:

$$\oint_L H dl = \oint_S (j + \frac{\partial D}{\partial t}) \cdot dS \quad (3.115)$$

(3.115) elektrodinamikaning ikkinchi asosiy tenglamasi hisoblanadi va to'la toklar qonuni deb ham yuritiladi. Maksvell tomonidan uyurmali elektr maydon, siljish toki kabi tushunchalarning kiritilishi elektromagnit maydon nazariyasini yaratilishiga olib keldi. Magnit maydonning o'zgarishi elektr maydonini vujudga keltirishi va aksincha o'zgaruvchan elektr maydoni magnit maydonini vujudga keltirishi elektromagnit maydon deyiladi (3.45-rasm).

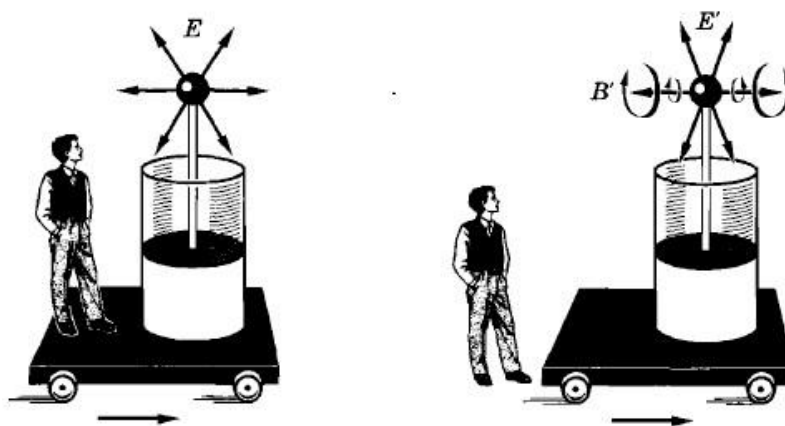
Elektromagnit maydon stasionar bo'lmay fazoda ma'lum chekli tezlik bilan tarqaladi.



3.45-rasm

Elektromagnit maydon materiyaning o'ziga xos yashash formasi bo'lib, u obyektiv reallikdir. Elektromagnit jarayonlar qanday sanoq sistemasida kuzatilishiga qarab, elektr maydoni tarzida, yoki elektromagnit maydon tarzida

namoyon bo'ladi. Qo'zg'almas sanoq sistemasiga nisbatan kuzatganda, elektr zaryadi atrofida faqat elektr maydoni, harakatdagi sanoq sistemasiga nisbatan kuzatganda esa har ikkalasi elektr va magnit maydoni tarzida namoyon bo'ladi (3.46-rasm).



3.46 – rasm

3.17. Maksvell tenglamalari

Maksvell elektr va magnit maydonlarning barcha hossalarning yagona nazariya asosida tushuntira oladigan elektromagnit maydon nazariyasini yaratdi.

Bu nazariya asosini biz yuqorida ko'rib chiqqan hodisalar qonuniyatlari tashkil etadi va u Maksvell tenglamalari deb yuritiladi. Mehanikada Nyuton qoidalari qanday rol o'ynasa, elektromagnetizmni o'rganishda Maksvell tenglamalari xuddi shunday ahamiyatga ega.

Bu tenglamalarning birinchisi, elektr maydoni potensial yoki uyurmali bo'lishidan kelib chiqadi.

Potensial maydoni qo'zg'almas zaryadlar vujudga keltiradi, uyurmali maydonni esa o'zgaruvchan magnit maydoni hosil qiladi. Natijada to'la maydon kuchlanganligi:

$$E = E_q + E_B \quad (3.116)$$

Demak, kuchlanganlik vektorining sirkulyatsiyasi

$$\oint_L E dl = \oint_L E_q dl + \oint_L E_B dl$$

Potensial maydon kuchlanganlin vektori sirkulyatsiyasi nolga tengligini hisobga olib,

$$\oint_L E dl = -\oint_S \left(\frac{\partial B}{\partial t}\right) dS \quad (3.117)$$

Bu nafaqat elektr zaryadi, balki, o'zgaruvchan magnit maydoni ham elektr maydonining manbai bo'la olishidan darak beradi.

Magnit maydoni kuchlanganlik vektori sirkulyatsiyasining to'la toklar ifodasi Maksvell tenglamalarining ikkinchi asosini tashkil etadi.

$$\oint_L H_l dl = \oint_S \left(j + \frac{\partial D}{\partial t}\right) dS \quad (3.118)$$

Bu o'zgaruvchan magnit maydoni fazoning ixtiyoriy nuqtasida siljish toki va u bilan bog'liq uyurmali elektr maydon vujudga kelishini ko'rsatadi.

Maksvellning uchinchi asosiy tenglamasi elektr induksiya vektori uchun Gauss teoremasini ifodalaydi.

$$\oint_S D_n dS = \sum q_i = \int_V \rho dV \quad (3.119)$$

Elektr induksiya (siljish) vektorining har qanday berk sirt orqali oqimi, shu sirt icyidagi zaryad miqdorlarning algebraik yig'indisiga teng.

Maksvellning to'rtinchi asosiy tenglamasi magnit induksiya vektori uchun Gauss teoremasini ifodalaydi:

$$\oint_S B_n dS = 0 \quad (3.120)$$

Har qanday berk sirt orqali o'tgan magnit induksiya vektorning oqimi nolga teng. Shunday qilib, Maksvell tenglamalarining sistemasi quyidagi integral ko'rinishga ega:

$$\begin{aligned} \oint_L E dl &= -\oint_S \left(\frac{\partial B}{\partial t}\right) dS \\ \oint_L H_l dl &= \oint_S \left(j + \frac{\partial D}{\partial t}\right) dS \\ \oint_S D_n dS &= \sum q_i = \oint_V \rho dV \\ \oint_S B_n dS &= 0 \end{aligned} \quad (3.121)$$

IV-bob

ELEKTR TEBRANISHLAR

4.1. Elektromagnit tebranishlar va to'liqlar

Elektr kattaliklari, zaryad miqdori, tok kuchi, kuchlanish shuningdek elektr va magnit maydon energiyasining vaqt o'tishi bilan davriy o'zgarishidan iborat jarayon elektr tebranishlari deb yuritiladi.

Elektr tebranishlari tebranish konturi deb ataladigan induktiv g'altak (L) va kondensator (C) dan iborat zanjirda kuzatiladi: (3.47-rasm)

Kondensatorni zaryadlasak, energiyasi

$$W_c = \frac{q^2}{2C} \quad (3.122)$$

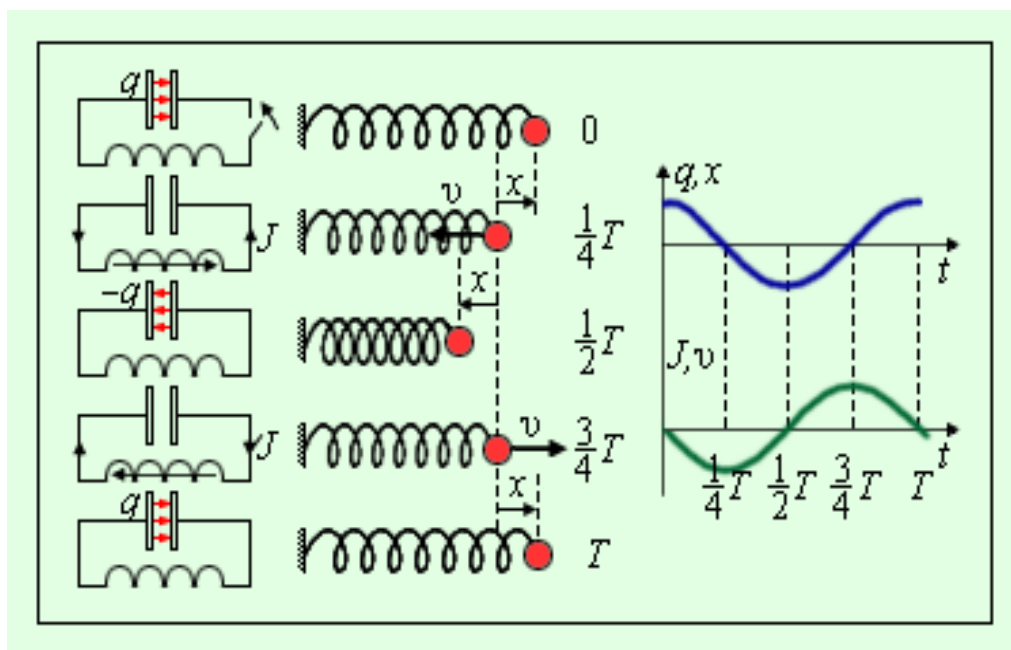
bo'lgan maydon hosil bo'ladi, zaryad kuchib, g'altakda tok vujudga keladi. Bu tokning magnit maydon energiyasi

$$W_M = \frac{LI^2}{2} \quad (3.123)$$

Ideal zanjir qarshiligi nolga teng bo'lganligi sababli elektr va magnit maydon energiyasi yig'indisidan iborat to'la energiya o'zgarmasdan saqlanadi:

$$W = \frac{q^2}{2C} + \frac{LI^2}{2} = const \quad (3.124)$$

Kondensator energiyasi nolga tenglashganda, g'altakdagi magnit maydon energiyasi, shuningdek tok ham eng katta qiymatga erishadi. So'ngra tok kamaya borib, qoplamadagi zaryad miqdori boshlang'ich qiymatni qabul qilganda, tok kuchi va magnit maydon energiyasi eng katta qiymatga erishadi. Shunday qilib, elektr va magnit maydonlarning davriy takrorlanishi kuzatiladi: erkin elektr tebranishlari vujudga keladi.



3.47-rasm

Tok manbaiga ulanmagan kontur uchun Kirxgof qonuni:

$$L \frac{dI}{dt} + \frac{q}{C} = 0 \quad (3.125)$$

(3.125) ifodaning har ikkala tomonini L-ga bo'lib, $L = \frac{dI}{dt} = \dot{q}$ -deb belgilab,

$$\ddot{q} + \frac{1}{LC} q = 0 \quad (3.126)$$

$$\omega_0^2 = \frac{1}{LC}; \quad (3.127)$$

(3.126) va (3.128) ni hisobga olib

$$\ddot{q} + \omega_0^2 q = 0 \quad (3.128)$$

(3.128) erkin elektr tebranslarining differensial tenglamasi deb yuritiladi.

Bu tenglamaning yyechimi quyidagi ko'rinishda bo'lib, u elektr tebranslarining parametrik tenglamasi deb ataladi:

$$q = q_0 \cos(\omega_0 t + \alpha) \quad (3.129)$$

Shunday qilib kondensator qoplamalarida zaryad miqdori, elektr va magnit maydonlari davriy qonun bo'yicha ma'lum chastota bilan o'zgaradi:

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T} \quad (3.130)$$

(3.127) va (3.130) lardan

$$T = 2\pi\sqrt{LC} \quad (3.131)$$

yuzaga keladi. (3.131) erkin elektr tebranishlarning davrini ifodalab, Tomson formulasi deyiladi.

Kondensator qoplamalaridagi kuchlanish:

$$U = \frac{1}{C} \cdot q = \frac{q_0}{C} \cos(\omega t + \alpha_0) = U_0 \cos(\omega_0 t + \alpha) \quad (3.131)$$

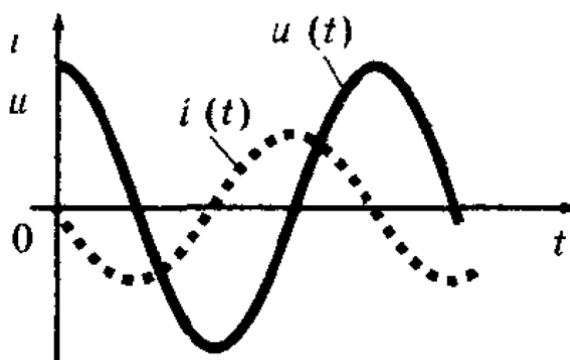
bu yerda

$$U_0 = \frac{q}{C}$$

(3.129) vaqt bo'yicha differensiallab, tok kuchi uchun:

$$I = \frac{dq}{dt} = -\omega_0 q_0 \sin(\omega_0 t + \alpha) = I_0 \cos(\omega_0 t + \alpha_0 - \frac{\pi}{2}) \quad (3.132)$$

(3.129) va (3.133) larni taqqoslash natijasida, kondensatordagi tok kuchi kuchlanish fazasidan $\frac{\pi}{2}$ -kadar oldinda yurishini kuzatish mumkin (3.48-rasm).



3.48-rasm

4.2. So'navchi elektr tebranishlar

Har qanday real kontur aktiv qarshilikka ega. Energiya qarshilikda issiqlikka aylanishi tufayli tebranishlar sekin-asta so'navdi. Tashqi EYuK manbaiga ulanmagan konturda uning elementlardagi kuchlanishlar yig'indisi nolga teng:

$$L \frac{dI}{dt} + RI + \frac{q}{C} = 0 \quad (3.134)$$

(3.134) ni L-ga bo'lib va quyidagi belgilashlarni kiritib:

$$I = \dot{q} \quad \frac{dI}{dt} = \ddot{q}$$

$$\ddot{q} + \frac{R}{L} \cdot \dot{q} + \frac{1}{LC} \cdot q = 0 \quad (3.135)$$

Ko'rinishdagi ifodani hosil qilamiz.

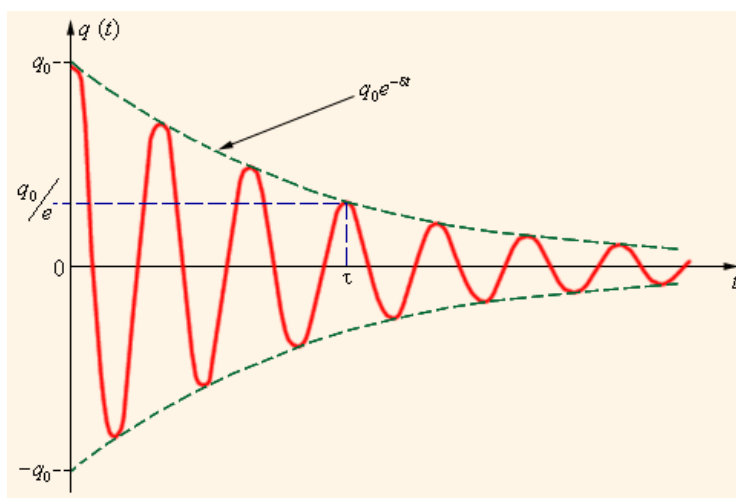
(3.135) ga $\beta = \frac{R}{2L}$; $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ almashtirishlar kiritib,

$$\ddot{q} + 2\beta\dot{q} + \omega_0^2 q = 0 \quad (3.136)$$

(3.136) Soʻnuvchi elektr tebranishlarning differensial tenglamasi deb yuritiladi. Bu tenglamaning yechimi $\frac{R^2}{4L^2} < \frac{1}{LC}$ shart bajarilganda quyidagi koʻrinishda boʻladi:

$$q = q_0 e^{-\beta t} \cos(\omega_0 t + \alpha) \quad (3.137)$$

(3.137) dan koʻrinadiki, vaqt oʻtishi bilan kondensator qoplamasidagi zaryad miqdori eksponential qonun boʻyicha kamayadi (3.49-rasm).



3.49-rasm

Tebranishlarning soʻnishi soʻnishning logarifmik dekrementi orqali xarakterlanadi.

$$\lambda = \ln \frac{a(t)}{a(t+T)} = \beta T; \quad \lambda = \frac{1}{N_e} \quad (3.138)$$

bu erda, N_e – amplitudaning e -marta kamayishidagi tebranishlar soni.

Soʻnishning logarifmik dekrementiga teskari proporsional boʻlgan kattalik konturning aslligi deb yuritiladi:

$$Q = \frac{\pi}{\lambda} = \pi N_e \quad (3.139)$$

(3.138) ni hisobga olib:

$$Q = \frac{\pi}{\beta T} = \frac{2\pi}{2\beta T} = \frac{\omega}{2\beta} \quad (3.140)$$

Agar $\beta^2 \ll \omega_0^2$ shart bajarilsa, $\omega = \omega_0 = \frac{1}{LC}$ bo'ladi. U holda asllik

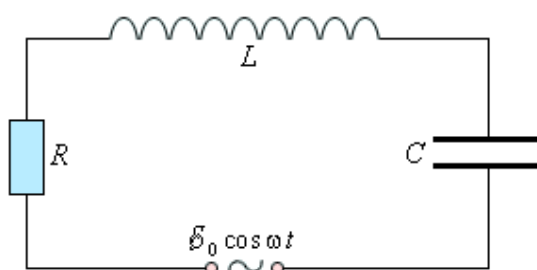
$$Q = \frac{1}{R} \cdot \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (3.141)$$

orqali ifodalanadi.

4.3. Majburiy elektr tebranishlar

Davriy ta'sir etuvchi kuch tufayli vujudga keladigan tebranishlar majburiy tebranishlar deyiladi.

Qarshilik, induktivlik va kondensatordan iborat tashqi EYuK manbaiga ulangan zanjirni kuzatamiz (3.50-rasm).



3.50-rasm

Bunday zanjirda har bir elementdagi kuchlanishlar yig'indisi tashqi manbaning kuchlanishiga teng bo'ladi:

$$U_L + U_R + U_C = U_0 \cos \omega t \quad (3.142)$$

$$U_L = L \frac{dI}{dt}; \quad U_R = IR; \quad U_C = \frac{1}{C} \cdot q \quad (3.143)$$

(3.143) ni hisobga olib:

$$L \frac{dI}{dt} + RI + \frac{1}{C} q = U_0 \cos \omega t \quad (3.144)$$

Quyidagi almashtirishlarni qo'llab,

$$\ddot{q} = \frac{dI}{dt}; \quad \dot{q} = I = \frac{dq}{dt}; \quad \beta = \frac{R}{2L}; \quad \omega_0^2 = \frac{1}{LC}$$

(3.144) ni:
$$\ddot{q} + 2\beta\dot{q} + \omega_0^2 q = \frac{U_0}{L} \cos \omega t$$

(3.145) shaklida yozamiz.

(3.145) – majburiy elektr tebranishlarning differensial tenglamasini ifodalaydi. Bu tenglamaning xususiy yechimi:

$$q = q_0 \cos(\omega t + \varphi) \quad (3.146)$$

Bu erda q_0 – zaryad miqdorining amplitudaviy qiymati:

$$q_0 = \frac{U_0}{\omega \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}} \quad (3.147)$$

Tebranishlar fazasi esa:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{R}{\frac{1}{LC} - \omega L} \quad (3.148)$$

(3.146) ni vaqt bo'yicha differentsiallab, tok kuch uchun (3.149) ni hosil qilamiz.

$$I = -\omega q_0 \sin(\omega t - \varphi) = I_0 \cos(\omega t - \varphi + \frac{\pi}{2}) \quad (3.149)$$

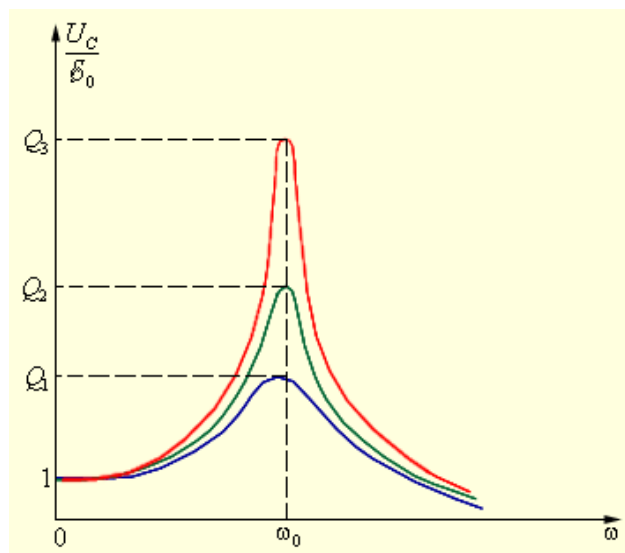
bu erda I_0 – tok kuchining amplitudaviy qiymati

$$I_0 = \omega q_0 = \frac{U_0}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}} \quad (3.150)$$

Ildiz ostidagi ifoda zanjirning to'liq qarshiligi deyiladi

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2} \quad (3.151)$$

Agar $\omega L = \frac{1}{\omega C}$ shart bajarilsa, tok bilan kuchlanish birday fazada o'zgaradi, ya'ni sinfaz bo'ladi. R,L va C-larning berilgan qiymatida to'liq qarshilik eng kichik qiymatga, tok kuchi esa kuchlanishning berilgan qiymati U_0 –da eng katta qiymatiga erishadi. Aktiv qarshilikdagi kuchlanish zanjirga berilayotgan tashqi kuchlanishga teng bo'lib, kondensatordagi kuchlanish amplitudasi son jihatidan teng, faza jihatidan qarama-qarshi bo'ladi. Bu hodisa kuchlanish rezonansi deb yuritiladi (3.51-rasm). Bu shartni qanoatlantiruvchi chastota $\omega_p = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ rezonans chastotasi deyiladi.



3.51-rasm

4.4. Elektromagnit to'liqlar

Tebranuvchi zaryadli zarracha yoki dipol yordamida o'zgaruvchan elektromagnit maydon hosil qilinsa, u holda fazoda elektr va magnit maydonlarning almashinib o'zgarishlarini va tarqalishini kuzatish mumkin.

Elektr va magnit maydonining davriy o'zgarishini fazoda chekli tezlik bilan tarqalishidan iborat jarayonga elektromagnit to'liqlar deb ataladi. Elektromagnit to'liqlar tenglamasi Maksvell tenglamalari sistemasidan keltirib chiqariladi. Dielektrik va magnit singdiruvchanligi o'zgarmas $\mu = const$ bo'lgan birjinsli muhitda tarqalayotgan yassi elektromagnit to'liqlarni kuzatamiz.

Agar elektromagnit to'liq X-o'qi bo'yicha tarqalayotgan bo'lsa, $E_x = E_z = 0$ va $H_x = H_y = 0$. Yuqoridagi shartlarni hisobga olib:

$$E_y = \frac{D_y}{\epsilon_0}; \quad B_z = \mu\mu_0 H_z$$

Maksvell tenglamasidan foydalanib,

$$\frac{\partial E_y}{\partial x} = -\mu\mu_0 \frac{\partial H_z}{\partial t}; \quad \frac{\partial H_z}{\partial x} = -\epsilon_0 \frac{\partial E_y}{\partial t} \quad (3.152)$$

(3.152) tenglamani differensiallab va almashtirishlar kiritib:

$$\frac{\partial}{\partial x} \cdot \frac{\partial H_z}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} \cdot \frac{\partial H_z}{\partial x}; \quad \frac{\partial}{\partial x} \cdot \frac{\partial E_y}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} \cdot \frac{\partial E_y}{\partial x}$$

$$\frac{\partial^2 E_y}{\partial x^2} = \mu\mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 E_y}{\partial t^2} \quad (3.153)$$

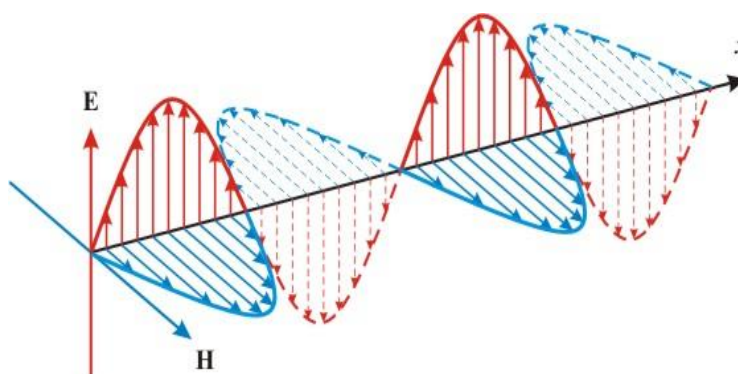
$$\frac{\partial^2 H_z}{\partial x^2} = \mu\mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 H_z}{\partial t^2} \quad (3.154)$$

(3.154) yassi elektromagnit to'liqlarning differensial tenglamasidir. Bu tenglamalarning yechimi davriy funksiya shaklida bo'lib, quyidagicha ifodalanadi:

$$\left. \begin{aligned} E_y &= E_0 \cos(\omega t - kx + \alpha_1) \\ H_z &= H_0 \cos(\omega t - kx + \alpha_2) \end{aligned} \right\} \quad (3.155)$$

(3.155) tenglamalar sistemasi elektromagnit to'liqlarning parametrik tenglamasi deb ataladi. Bu erda, $k = \frac{\omega}{v} = \frac{2\pi}{\lambda}$ – to'liqin soni.

Elektr va magnit maydon kuchlanganlik vektorlari o'zaro perpendikulyar tekisliklarda tebranib tarqaluvchi elektromagnit to'liqlarni hosil qiladi (3.52-rasm).



3.52-rasm

(3.155) ni differensiallab, (3.153) ga asosan:

$$\frac{1}{g^2} = \varepsilon_0 \cdot \mu\mu_0 \quad (3.156)$$

(3.156) da $\sqrt{\varepsilon_0\mu_0} = \frac{1}{c}$ deb belgilasak, elektromagnit to'liqlarning tarqalish tezligi

$$g = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon\mu}} \quad (3.157)$$

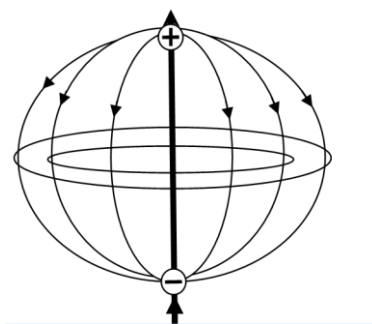
orqali ifodalanadi.

Vakuumda $\varepsilon = \mu = 1, \dots v = c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$, ya'ni elektromagnit to'liqlar vakuumda yorug'lik tezligiga teng tezlik bilan tarqaladi.

4.5. Gers tajribasi

Maksvell tenglamalari elektromagnit to'liqlar mavjudligi xulosa tarzida kelib chiqqan bo'lsada, uning amaliy tasdigi Gers tajribasi (1888y) yordamida aniqlandi. Elektromagnit tebranishlar, tebranish konturida vujudga kelsada, u elektromagnit to'liqlari tarqatish manbai bo'la olmaydi, chunki elektr maydon energiyasi esa g'altak o'ramlari bilan chegaralangan cho'lg'am hajmida bo'ladi.

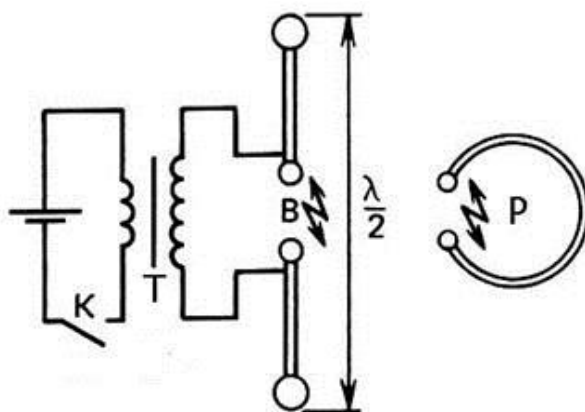
Tarqalayotgan elektromagnit to'liqlarni yuzaga keltirish uchun g'altak o'ramlari sonini kamaytirib, kondensator qoplamalari oralig'i ochilsa, ochiq tebranish konturi hosil bo'ladi. Elektromagnit to'liqlar lampali generator bilan induktiv bog'lanishga ega bo'lgan tebranish konturida hosil qilinadi (3.53-rasm).



3.53-rasm

To'r potentsiali musbat bo'lganda anod zanjirdan tok o'tadi. Bu tokning g'altakda hosil qilingan magnit maydon kuch chiziqlari to'rga ulangan L_j – g'altak o'ramlarini kesib o'tib, unda shunday tok hosil qiladiki, natijada to'r potentsiali manfiy boladi. O'zaro induksiya tufayli vujudga kelgan tok, to'r potentsialni o'nglab, anod zanjirini ochadi. Ana shu tarzda ochiq tebranish konturida elektromagnit tebranishlar hosil qilinadi va tarqatiladi.

Gers elektromagnit tolqinlar hosil qilish uchun o'zi ixtiro qilgan vibratoridan foydalanadi. Gers vibratorlari – induktorga drossel orqali ulangan uchlariga metall shar biriktilgan, uchqun oralig'i bilan ajratilgan metall o'zakdan iborat (3.54-rasm).



3.54-rasm

Vibrator induktor yordamida zaryadlanadi. Kuchlanish “teshilish” darajasiga etganda, $U_T = E_T d$ uchqun hosil bo’lib vibratori razryadlaydi. Ana shu jarayon takrorlanishi natijasida, elektromagnit to’lqinlar hosil qilinadi. Tebranishda yuzaga kelgan yuksak chastotali tok induktorga o’tmasligi uchun, vibrator induktordan drossel bilan ajratiladi.

Vibratori botiq metall ko’zgu fokusiga joylashtirib, yo’naltirilgan elektromagnit to’lqin hosil qilinadi. Yo’naltirilgan to’lqinlardan foydalanib, elektromagnit to’lqinlarning hossalarni o’rganish mumkin, (to’lqinlarning qaytishi, sinishi, dispersiyanalishi...). Yo’naltirilgan elektromagnit to’lqinlar yo’liga metall ko’zgu o’rnatilib, turg’un elektromagnit to’lqin hosil qilinadi. Vibrator chastotasiga sozlangan rezonator yordamida ketma-ket uchqun chaqnashlar oralig’i $S = \frac{\lambda}{2}$ -ni aniq o’lchab, elektromagnit to’lqinlar tarqalish tezligini tajribada aniqlash mumkin.

$$v_{\text{EM}} = \lambda \nu = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

O’tkazilgan tajribalar elektromagnit to’lqinlar tarqalish tezligini yorug’lik tezligiga teng ekanligini ko’rsatadi.

4.6. Elektromagnit maydon energiya oqimning zichligi

To'lqinlarning energiyaga ega ekanligi – ularni payqash mumkinligidan ma'lum.

To'lqin tufayli tarqalayotgan energiyani xarakterlashda energiya oqimi zichligi deb ataladigan vektor kattalik kiritilgan.

Birlik vaqt ichida yuza birligidan o'tayotgan energiyaga son jihatidan teng bo'lgan kattalik energiya oqimning zichligi deyiladi. Energiya oqimi zichligi vektorning yo'nalishi to'lqinning tarqalish tezligi bilan bir xil bo'ladi.

Elektromagnit maydon energiya zichligi elektr va magnit maydon energiyalari zichliklarning yig'indisiga teng:

$$\omega_T = \omega_{\text{эл}} + \omega_M = \frac{\varepsilon_0 E^2}{2} + \frac{\mu\mu_0 H^2}{2} \quad (3.158)$$

Elektromagnit to'lqinlarda \vec{E}, \vec{H} -vektorlar birday fazoda o'zgarganligi uchun elektr maydon energiyasi zichligi ($\omega_{\text{эл}}$) magnit maydon energiyasi zichligi (ω_M)-ga tengligidan foydalanib, $\sqrt{\varepsilon_0}E = \sqrt{\mu\mu_0}H$ (3.158) ni quyidagicha ifodalaymiz:

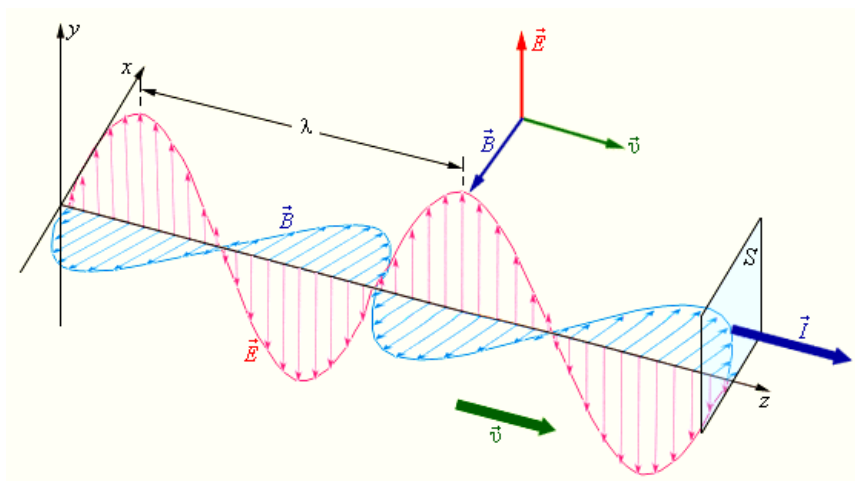
$$\omega = 2\omega_0 = \varepsilon_0 E^2 \quad \text{yoki} \quad \omega = \sqrt{\varepsilon_0\mu_0} \cdot \sqrt{\varepsilon\mu} \cdot E \cdot H \quad (3.158)$$

Elektromagnit to'lqin tezligi

$$v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu\mu_0}} \quad (3.159)$$

(3.159) ni hisobga olib, elektromagnit to'lqin energiyasi oqimi zichligi uchun (Umov-Poyting vektori):

$$S = \omega v = E \cdot H \quad (3.160)$$

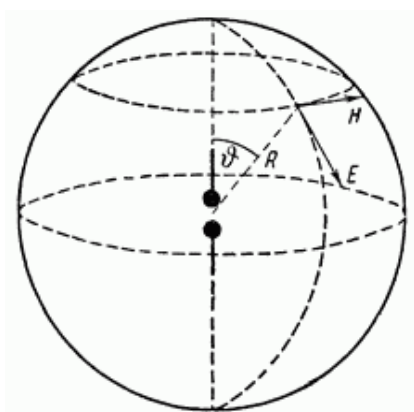


$E \cdot H$ -vektorlar o'zaro perpendikulyar bo'lib, tarqalish yo'nalishi o'ng vint qoidasi aniqlanadi. Shuning uchun ham $|E \cdot H|$ -vektorlarning yo'nalishi energiyaning ko'chishi bilan mos tushadi.

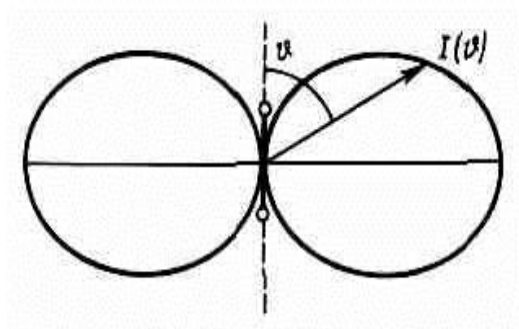
4.7. Dipolning nurlanishi

Elektromagnit qo'lqinlarning manbai, tebranma harakat qiluvchi elektr dipol bo'lishi mumkin.

Aytaylik, $+q$ nuqtaviy zaryad qo'zg'almas bo'lib, $-q$ nuqtaviy zaryad uning tebranma harakat qilsin (3.55a-rasm).



3.55a-rasm



3.55b-rasm

Bu holda dipolning elektromagniti kosinus qonuniyatiga asosan o'zgaradi:

$$p = p_m \cos \omega t$$

Zaryad atrofida har doim elektr maydon (E) hosil bo'ladi. Zaryad ($-q$) harakat qilganda esa, (E) dan tashqari magnit maydon (H) ham hosil bo'ladi. (E) va H lar o'zaro tik bo'lib, ularning manbai bitta, ya'ni elektr dipolidir. Shuning uchun bir butun elektromagnit to'lqin hosil bo'ladi. Dipolning nurlanish quvvati

$$N = kp_m^2 \omega^4 \cos^2 \omega t$$

teng bo'ladi, ya'ni dipolning nurlanish quvvati dipolning, elektr momentining kvadratiga, tebranish chastotasining to'rtinchi darajasiga to'g'ri proporsional bo'ladi. Harakat qilayotgan istalgan zaryadning nurlanish quvvatini quyidagicha ifodalash mumkin:

$$N \sim q^2 a^2, \quad (3.161)$$

bunda a - zaryadning tezlanishi. Agar $a=0$ bo'lsa, $N=0$ bo'ladi. Demak, tezlanishsiz harakat qilgan zaryad nurlanmaydi. Shuning uchun ham o'zgarmas, tezlik bilan harakat qiluvchi elektron nur chiqarmaydi. Shu bilan birga nurlanish intensevligiga ko'ra zaryad miqdori va amplitudalar kvadratiga proporsional bo'ladi. Masalan, betatronda tezlatilgan elektron markazga intilma $a = \frac{v^2}{r}$ tezlanish tufayli jamg'argan energiya hisobiga elektromagnit nurlanish chiqaradi. Bu nurlanish intensevligi, shuningdek, nurlanish uchun energiya sarfi ham elektronni betotrandagi tezligi ortishi bilan (v^4 ga proporsional ravishda) orta boradi. Elektron energiyasini bu ortishi 500 Mev dan ortiq bo'la olmaydi. Chunki elektronni bu energiya 500 Mev gacha tezlatishda unga berilgan energiya nurlanishga to'g'ri sarflanadi. Elektronni bundan ortiq tezlashtirish mumkin bo'lmaydi.

Ma'lum bir ν -chastotada tebranayotgan zaryadli zarrachalar shu chastotadagi monohiramatik nurlanish to'lqinlarini hosil qiladi. Agar zarracha tezlanishi nogarmonik (har xil chastotali) qonunlar bilan o'zgarsa nurlanish ham

har xil chastotali nurlar to'plamidan iborat bo'ladi. Agar zarrani tezlanishi $a=0$ bo'lsa ga ko'ra nurlanish intensevligi ham 0 ga teng bo'ladi ya'ni o'zgarmas ($v = \text{const}$) tezlik bilan harakatlanayotgan zaryadli zarracha (elektron) elektromagnit nurlanishlar chiqarmaydi. Bu hulosa elektronni tezligi v_{el} yorug'likni muhutada $v_{yo} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}}$ dan kichik bo'lgan hollar uchun o'rinlidir.

Eelektronni tezligi yorug'likning moddadagi tezligidan katta $v_e \geq v_{yo}$ bo'lgan hollarda elektronni harakati elektromagnit nurlanish chiqarish bilan kuzatiladi. 1934-yil Vovilov-Cherinkov effektiga qarang.

Bilimning mustaqil nazorati uchun testlar to'plami

1. Magnit maydoni nima?

- A. magnit maydoni obyektiv reallikdir
- B. materiyaning o'ziga xos yashash formasidir
- C. harakatdagi zaryadli zarrachalarning o'zaro ta'sir etish qobiliyatidir
- D. magnit maydoni potensial maydondir
- E. magnit maydoni yorug'lik tezligida tarqaluvchi energiyadir

2. Magnit maydoni qanday hossalarga ega?

- A. magnit maydoni tokni induksiyalaydi
- B. magnit maydoni magnit strelkasiga ta'sir etadi
- C. uyurmali maydon bo'lib, tokka ta'sir etadi
- D. zaryadli zarrachalarga ta'sir etadi
- E. magnit maydoni potensial xarakterga ega

3. Magnit induksiya vektori ifodasini ko'rsating.

- A. $B = \mu \cdot nI$
- B. $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R}$
- C. $B = \frac{\mu I_0}{2r}$
- D. $B = \frac{M}{I \cdot s}$
- E. $dB = k \frac{Idl}{r^2} \sin \alpha$

4. Magnit momenti ifodasini ko'rsating.

- A. $P = ql$
- B. $P = IS$
- C. $P = \frac{e\upsilon r}{R}$
- D. $P = \upsilon \frac{e\pi}{2m}$
- E. $P = m\upsilon r$

5. Bio-Savar-Laplas qonuni ifodasini ko'rsating.

A. $B = \mu \cdot nI$ B. $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R}$ C. $B = \frac{\mu I_0}{2r}$
D. $B = \frac{M}{I \cdot s}$ E. $dB = k \frac{Idl}{r^2} \sin \alpha$

6. To'g'ri tokli o'tkazg'ich magnit maydon induksiyasi ifodasini ko'rsating.

A. $B = \mu \cdot nI$ B. $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R}$ C. $B = \frac{\mu I_0}{2r}$
D. $B = \frac{M}{I \cdot s}$ E. $dB = k \frac{Idl}{r^2} \sin \alpha$

7. Doiraviy tokli o'tkazg'ich markazidagi magnit maydon induksiyasining ifodasini ko'rsating.

A. $B = \mu \cdot nI$ B. $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R}$ C. $B = \frac{\mu I_0}{2r}$
D. $B = \frac{M}{I \cdot s}$ E. $dB = k \frac{Idl}{r^2} \sin \alpha$

8. Solenoid magnit maydon induksiyasining ifodasini ko'rsating.

A. $B = \mu \cdot nI$ B. $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R}$ C. $B = \frac{\mu I_0}{2r}$
D. $B = \frac{M}{I \cdot s}$ E. $dB = k \frac{Idl}{r^2} \sin \alpha$

9. Magnit maydonida harakatlanayotgan zaryadli zarrachalarga ta'sir etuvchi kuch ifodasini ko'rsating.

A. $F = qBv \sin \alpha$ B. $F = IBl \sin \alpha$ C. $F = k \frac{2I_1 I_2}{d}$

D. $F = qE$ E. $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$

10. Parallel tokli o'tkazg'chlarning o'zaro ta'sir kuchi ifodasini ko'rsating.

A. $F = qBv \sin \alpha$ B. $F = IBl \sin \alpha$ C. $F = k \frac{2I_1 I_2}{d}$

D. $F = qE$ E. $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$

11. Magnit maydondagi tokli o'tkazg'ichga ta'sir etuvchi kuch ifodasini ko'rsating.

A. $F = qBv \sin \alpha$ B. $F = IBl \sin \alpha$ C. $F = k \frac{2I_1 I_2}{d}$

D. $F = qE$ E. $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$

12. Xoll kuchlanishi ifodasini ko'rsating.

A. $U = q(\varphi_2 - \varphi_1)$ B. $U = Ed$ C. $U = IR$

D. $U = RjBa$ E. $U = \varepsilon + (\varphi_2 - \varphi_1)$

13. Xoll doimiysi ifodasini ko'rsating.

A. $R = (1 + 2t)$ B. $R = \frac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}$ C. $R = \mu\mu_0 \frac{N^2}{l}$

D. $R = \frac{1}{en}$ E. $R = \frac{\mu}{4\pi}$

14. Magnitlanish vektori ifodasini ko'rsating.

A. $J = \frac{B}{\mu\mu_0}$ B. $J = \mu\mu_0 H$ C. $J = \frac{B}{\mu_0} - H$

D. $J = \chi H$ E. $J = \frac{I}{2\pi R}$

15. Magnit maydon kuchlanganligi vektorning ifodasini ko'rsating.

A. $H = \frac{B}{\mu\mu_0}$ B. $H = \frac{B}{\mu_0} - J$ C. $H = \frac{I}{2\pi R}$

D. $H = \frac{I}{2r}$ E. $H = \frac{J}{\chi}$

16. To'g'ri tokli o'tkazg'ich maydon kuchlanganligi ifodasini ko'rsating.

A. $H = \frac{B}{\mu\mu_0}$ B. $H = \frac{B}{\mu_0} - J$ C. $H = \frac{I}{2\pi R}$

D. $H = \frac{I}{2r}$ E. $H = \frac{J}{\chi}$

17. Doiraviy tokli o'tkazgich markazidagi maydon kuchlanganligi ifodasini ko'rsating.

A. $H = \frac{B}{\mu\mu_0}$ B. $H = \frac{B}{\mu_0} - J$ C. $H = \frac{I}{2\pi R}$

D. $H = \frac{I}{2r}$ E. $H = \frac{J}{\chi}$

18. Magnit induksiya vektorning maydon kuchlanganligi orqali ifodasini ko'rsating.

A. $B = \mu_0 \frac{I}{H}$ B. $B = \frac{H}{IS}$ C. $B = \frac{\mu_0 I}{2r} H$

$$D. B = \frac{H + J}{\chi} \quad E. B = \mu\mu_0 H$$

19. Magnit oqimi ifodasini ko'rsating.

$$A. \Phi = \oint_S E_n ds \quad B. \Phi = \oint_S B_n ds \quad C. \Phi = \oint H_n ds$$

$$D. \Phi = \oint_S D_n ds \quad E. \Phi = \oint LIdS$$

20. Magnit oqimi uchun Gauss teoremasining ifodasini ko'rsating.

$$A. \oint_S B_n dS = \mu\mu_0 H \quad B. \oint_S B_n dS = \sum I_i \quad C. \oint B_n dS = 0$$

$$D. \oint B_n dS = \oint jdS \quad E. \oint B_n dS = \oint \rho dV$$

21. Magnit maydonida tokli o'tkazg'ichni ko'chirishga bajargan ishi ifodasini ko'rsating.

$$A. A = q \cdot \oint E_e dl \quad B. A = I \oint BdS \quad C. dA = Id\Phi$$

$$D. A = \frac{LI^2}{2} \quad E. A = \frac{B^2}{2\mu\mu_0}$$

22. Magnit maydonning asosiy hossalaridan biri qaysi ifoda to'g'ri ko'rsatilgan?

$$A. \oint_L Hedl = 0 \quad B. \oint_L Hedl = \oint_S jdS \quad C. \oint Hedl = q \oint E_e dl$$

$$D. \oint A_2 dl = \frac{\beta}{\mu\mu_0} \quad E. \oint Hedl = \oint BdS$$

23. Magnit maydonida tokli konturi ko'chirishda bajarilgan ishi ifodasini ko'rsating.

A. $A = q \cdot \oint E_e dl$ B. $A = I \oint B dS$ C. $dA = Id\Phi$

D. $A = \frac{LI^2}{2}$ E. $A = \frac{B^2}{2\mu\mu_0}$

24. Moddalar magnit hossalarga ko'ra qanday klassifikasiyalanadi?

A. dielektriklar, diamagnitlar, izolyatorlar B. metallar, elektrolitlar, paramagnitlar

C. paramagnitlar, izolyatorlar, ferromagnitlar

D. ferromagnitlar, paramagnitlar, diamagnitlar

E. diamagnitlar, paramagnitlar, elektrolitlar

25. Elektronning magnit momenti ifodasini ko'rsating.

A. $P = q \cdot l$ B. $P = \frac{e v r}{2}$ C. $P = -\frac{e\hbar}{2m}$

D. $P = IS$ E. $P = h\nu$

26. Bor magnitoni ifodasini ko'rsating.

A. $\mu_B = 4\pi \cdot 10^{-7}$ B. $\mu_B = 1 + \chi$ C. $\mu_B = -\frac{e\hbar}{2m}$

D. $\mu_B = 4\pi \cdot 10^{-9}$ E. $\mu_B = \frac{B}{B_0}$

27. Quyidagi guruhlarining qaysilari diamagnitlarga misol bo'ladi?

A. *Co, Ni, Cd, Cr, Te* B. *Cu, Ag, Pb, Au* C. *Cr, Mn, Na, Pt*

D. *Co, Ni, Ag, Pb, Au* E. *Cu, Ag, Pb, Na, Pt*

28. Quyidagi guruhlarining qaysilari paramagnit hisoblanadi?

A. *Co, Ni, Cd, Cr, Te* B. *Cu, Ag, Pb, Au* C. *Cr, Mn, Na, Pt*

D. *Co, Ni, Ag, Pb, Au* E. *Cu, Ag, Pb, Na, Pt*

29. Quyidagi guruhlarning qaysilari ferromagnitdir?

A. *Co, Ni, Cd, Cr, Te* B. *Cu, Ag, Pb, Au* C. *Cr, Mn, Na, Pt*

D. *Co, Ni, Ag, Pb, Au* E. *Cu, Ag, Pb, Na, Pt*

30. Ferromagnitlar qanday hossalarga ega?

A. qutblanish B. elektrlanish C. dissosatsiyalanish

D. razryadlanish E. magnetlanish

31. Elektromagnit induksiya hodisasi deb nimaga aytiladi?

A. tashqi kuchlar ta'sirida zanjirda elektr tokining vujudga kelishi

B. berk zanjirda EYuK ta'sirida tok hosil bo'lishi

C. ferromagnitlarning kechikib magnitsizlanishi

D. berk zanjirda magnet oqimining o'zgarish tufayli tok hosil bolshi

E. molekullarning ionlarga parchalanishi

32. Induksiya EYuK ifodasini ko'rsating.

A. $\varepsilon = \oint E^* dl$ B. $\varepsilon = q \oint E^* dl$ C. $\varepsilon = I(R+r)$

D. $\varepsilon = -\frac{1}{dt} \oint Bds$ E. $\varepsilon = \oint Bds$

33. Induksiya EYuK.-ning induktivlik orqali ifodasini ko'rsating.

A. $\varepsilon = \alpha(t_2 - t_1)$ B. $\varepsilon = L \frac{dq}{dt}$ C. $\varepsilon = L \frac{dI}{dt}$

D. $\varepsilon = L \frac{dU}{dt}$ E. $\varepsilon = L \oint Bds$

34. Magnit maydon energiyasi ifodasini ko'rsating.

A. $W = \frac{\varepsilon_0}{r} E^2$ B. $W = \frac{H^2}{\mu\mu_0}$ C. $W = \frac{2E^2}{\varepsilon_0}$

D. $W = \frac{B}{\mu\mu_0}$ E. $W = \frac{LI^2}{2}$

35. Magnit maydon energiyasi zichligi ifodasini ko'rsating.

A. $\omega = 2\pi\sqrt{LC}$ B. $\omega = \varepsilon_0 E^2$ C. $\omega = \mu\mu_0 B^2$

D. $\omega = \frac{B^2}{2\mu\mu_0}$ E. $\omega = \mu\mu_0 A^2$

36. Elektrodinamikaning I-asosiy qonuni ifodasini ko'rsating.

A. $\oint E_l dl = \sum I$ B. $\oint E_l dl = \sum q$ C. $\oint E_l dl = -\oint \left(\frac{\partial B}{\partial t}\right) ds$

D. $\oint E_l dl = \oint j ds$ E. $\oint H_l dl = \oint \left(j + \frac{\partial B}{\partial t}\right) ds$

37. Elektrodinamikaning II-asosiy qonuni ifodasini ko'rsating.

A. $\oint E_l dl = \sum I$ B. $\oint E_l dl = \sum q$ C. $\oint E_l dl = -\oint \left(\frac{\partial B}{\partial t}\right) ds$

D. $\oint E_l dl = \oint j ds$ E. $\oint H_l dl = \oint \left(j + \frac{\partial B}{\partial t}\right) ds$

38. Siljish toki deb nimaga aytiladi?

A. dielektriklarning qutblanishiga

B. gazlardan tok o'tishiga

C. moddalarning magnitlanishiga

D. o'zgaruvchan elektr maydonining o'zgaruvchan magnit maydoni hosil qilshiga

E. to'g'ri javob yo'q

39. Siljish toki zichligining ifodasini ko'rsating.

A. $j = neu$ B. $j = \sigma E$ C. $j = \frac{dD}{dt}$

D. $j = \oint Ids$ E. $j = \sigma E^2$

40. Elektr tebranishlarning differensial tenglamasini ko'rsating.

A. $\ddot{q} + \omega_0^2 q = 0$ B. $q = q_0 \cos(\omega + t)$ C. $dq = Idt$

D. $\ddot{q} + 2\beta\dot{q} + \omega_0^2 q = \frac{U}{L} \cos \omega t$ E. $\ddot{q} + 2\beta\dot{q} + \omega_0^2 q = 0$

41. Tomson formulasi ifodasini ko'rsating.

A. $T = \frac{\omega}{2\pi}$ B. $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ C. $T = 2\pi \sqrt{LC}$

D. $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$ E. $T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{ml}}$

42. So'nuvchi elektr tebranishlarining differensial tenglamasini ko'rsating.

A. $\ddot{q} + \omega_0^2 q = 0$ B. $q = q_0 \cos(\omega + t)$ C. $dq = Idt$

D. $\ddot{q} + 2\beta\dot{q} + \omega_0^2 q = \frac{U}{L} \cos \omega t$ E. $\ddot{q} + 2\beta\dot{q} + \omega_0^2 q = 0$

43. So'nishning logarifmik dekrementi ifodasini ko'rsating.

A. $\lambda = \beta T$ B. $\lambda = \nu T$ C. $\lambda = \frac{2\pi}{k}$

$$D. \lambda = \ln \frac{n_1}{n_2} \quad E. \lambda = \frac{h}{m\nu}$$

44. Konturni aslligi ifodasini ko'rsating.

$$A. Q = g^2 R t \quad B. Q = \pi N e \quad C. Q = \pi I t$$

$$D. Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad E. Q = \frac{T}{\pi}$$

45. Tok kuchining amplitudaviy qiymati ifodasini ko'rsating.

$$A. I_0 = \frac{U_0}{\sqrt{R + (\omega L - \frac{1}{\omega C})}} \quad B. I_0 = \frac{U_0}{R} \quad C. I = \oint j dS$$

$$D. j_0 = \frac{U_0}{R+r} \quad E. I_0 = \frac{U_0}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}$$

46. Majburiy tebranishlarning differensial tenglamasini ko'rsating.

$$A. \ddot{q} + \omega_0^2 q = 0 \quad B. q = q_0 \cos(\omega + t) \quad C. dq = I dt$$

$$D. \ddot{q} + 2\beta\dot{q} + \omega_0^2 q = \frac{U}{L} \cos \omega t \quad E. \ddot{q} + 2\beta\dot{q} + \omega_0^2 q = 0$$

47. O'zgaruvchan tok zanjirning to'la qarshiligi ifodasini ko'rsating.

$$A. Z = R + r \quad B. Z = p \frac{l}{S} \quad C. Z = \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}$$

$$D. Z = p_0 (1 + \alpha t) \quad E. Z = \frac{U_{\text{эф}}}{g_{\text{эф}}}$$

48. Rezonans shartini ko'rsating.

A. $\omega = \omega_0$ B. $\omega^2 = \frac{1}{LC}$ C. $\omega = \frac{2\pi}{T}$

D. $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ E. $\omega L = \frac{1}{\omega C}$

50. To'lqin soni ifodasini ko'rsating.

A. $k = \frac{R}{N_A}$ B. $k = \frac{2\varepsilon}{3T}$ C. $k = \frac{2\pi}{T}$

D. $k = \frac{2\pi}{T}$ E. $k = \frac{\hbar}{2\pi}$

51. Elektromagnit to'lqin tezligi ifodasini ko'rsating.

A. $\vartheta = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$ B. $\vartheta = \frac{C}{\sqrt{\varepsilon\mu}}$ C. $\vartheta = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$

D. $\vartheta = \sqrt{\frac{2E}{m}}$ E. $\vartheta = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$

52. Bio-Savar-Laplas qonunini to'g'ri ta'riflang.

A. ixtiyoriy huqtadagi maydon induksiya vektori, tok kuchiga to'g'ri, qarshilikka esa teskari proporsionaldir

B. kuzatilayotgan nuqtadagi magnit maydon induksiyasi maydonning kuch chiziq lari zichligiga proporsionaldir

C. kuzatilayotgan nuqtadagi magnit maydon induksiyasi tok kuchi va tok elementiga to'g'ri proporsional bo'lgan masofa kvadratiga esa teskari proporsionaldir

D. kuzatilayotgan nuqtadagi magnit maydon induksiyasi, o'tkazgich elementiga to'g'ri, masofaga esa teskari proporsionaldir

53. Xoll effekti deb nimaga aytiladi?

- A. magnit maydoniga joylashtirilgan tokli o'tkazgichda poyensiallar farqining vujudga kelishiga
- B. o'tkazgichlardan tok o'tganda modda ajralib chiqishiga
- C. magnit maydonida tokli ramkaning burilishiga
- D. magnit maydonida zaryadli zarrachalarning og'ishiga
- E. yarimo'tkazgichlarning magnit maydoni ta'sirida tok hosil qilishiga

54. Magnitlanish vektori deb nimaga aytiladi?

- A. hajm birligidagi qutbli molekulalar siniga
- B. 1 sm^3 -dagi zaryad tashuvchilar soniga
- C. 1 moldagi ionlar soniga
- D. hajm birligidagi magnit momentining algebraik yig'indisiga son jihatidan teng kattalikka
- E. berk kontur orqali magnit oqimining o'zgarishiga

55. Magnit oqimi uchun Gauss teoremasining to'g'ri ta'rifini ko'rsating.

- A. har qanday berk kontur orqali magnit induksiya vektorning oqimi shu sirt bilan o'ralgan toklar algebraik yig'indisiga teng
- B. har qanday berk kontur orqali magnit induksiya vektorning oqimi shu sirt ichidan boshlanmaydi ham, tugallanmaydi ham
- C. har qanday berk kontur orqali magnit induksiya vektorning oqimi nolga teng
- D. har qanday berk kontur orqali magnit induksiya vektorning oqimi o'tkazuvchanlik toki va molekulyar tok zichligining yig'indisiga teng

E. to'gri javob yo'q

56. Magnit maydon kuchlanganligi vektorning sirkulyatsiyasi nimaga teng?

A. har qanday berk kontur orqali magnit induksiya vektorning oqimi shu sirt bilan o'ralgan toklar algebraik yig'indisiga teng

B. har qanday berk kontur orqali magnit induksiya vektorning oqimi shu sirt ichidan boshlanmaydi ham, tugallanmaydi ham

C. har qanday berk kontur orqali magnit induksiya vektorning oqimi nolga teng

D. har qanday berk kontur orqali magnit induksiya vektorning oqimi o'tkazuvchanlik toki va molekulyar tok zichligining yig'indisiga teng

E. to'gri javob yo'q

57. Transformatorning ish prinsipi qanday hodisaga asoslangan?

A. magnitlanishga B. tokli o'tkazgichlarning o'zaro ta'siriga

C. Lens qonuniga D. elektromagnit induksiya hodisasiga E. Xoll effektiga

58. Magnit induksiya chiziqlari deb, shunday egri chiziqlarga aytiladiki...

A. uning har bir nuqtasida magnit induksiya vektori urinma ravishda yo'naladi

B. uning har bir nuqtasi perpendikulyar ravishda yo'naladi

C. uning har bir nuqtasiga o'tkazilgan magnit induksiya vektori chiziqlari parallel yo'naladi

D. yo'nalishining ahamiyati yo'q

E. uning har bir nuqtasida magnit induksiya vektori yotadi

59. Induksion tok shunday yo'nalganki,...

A. uning ta'siri shu tokning hosil bo'lishiga sabab bo'lgan ta'sirga qarama-qarshi bo'ladi

B. uning ta'siri shu tokning hosil bo'lishiga sabab bo'lgan ta'sir bilan bir xil bo'ladi

C. o'ng qo'l qoidasi bilan aniqlanadi

D. chap qo'l qoidasi bilan aniqlanadi

E. ixtiyoriy ravishda o'zgarishi mumkin

60. Magnit singdiruvchanlik (μ_0) moddaning magnit hossalari xarakterlaydi va...

A. moddaning turi hamda temperaturasiga bog'liq

B. faqat modda temperaturasiga bog'liq

C. faqat moddaning turiga bog'liq

D. dielektrik singdiruvchanlikka bog'liq

E. hech qanday kattalikka bog'liq emas

Masalalar yechish namunalari

1. Elektron $U=400V$ ga teng bo'lgan tezlatuvchi potentsiallar ayirmasida harakatlanib, kuchlanganligi $N=10^3 A/M$ bo'lgan bir jinsli magnit maydoniga kiradi. Agar tezlik yo'nalishi maydon kuch chiziqlariga perpendikulyar bo'lsa electron xarakat trayektoriyasining egrilik radiusi topilsin.

Berilgan:

$U=400V$
 $N=10^3 A/m$
 $R=?$

Yechish:

Magnit maydonida harakat qilayotgan elektronga Lorens kuchi ta'sir qiladi. Kuchning yo'nalishi tezlik yo'nalishiga perpendikulyar bo'lganligi sababli, u elektronga normal tezlanish beradi. Nyutonning ikkinchi qonuniga asosan.

$$F_A = ma_n \quad \text{yoki} \quad |e\mathbf{v} \times \mathbf{B}| = \frac{mv^2}{R} \quad (1)$$

bunda e – electron zaryadi, m – electron massasi, v - electron tezligi, $v \perp B$ bo'lganligidan $\alpha=90^\circ$, $\sin\alpha=1$. (1) formuladan egrilik radiusi R

$$R = \frac{mv}{eB} \quad (2)$$

formulaga kiruvchi impuls mv ni kinetik enetgiya orqali ifodalasak

$$\frac{mv^2}{2} = T, \quad \text{va} \quad mv = \sqrt{2mT} \quad (3)$$

$$T = |e|u \quad \text{ekanligidan} \quad mv = \sqrt{2meU} \quad \text{bo'ladi.}$$

Magnit maydon induksiyasi B magnit maydoni kuchlanganligi N bilan $B=\mu_0 N$ ko'rinishida bog'langan, μ_0 – magnit doimiysi.

B va mv larning qiymatini (2) formulaga qo'ysak, R uchun quyidagi ifodaga ega bo'lamiz.

$$R = \frac{\sqrt{2meU}}{\mu_0 N} \quad (4) \quad \text{formuladagi}$$

kattaliklarni qiymatlarini qo'yib, ni aniqlaymiz.



2. Biridan 20 A, ikkinchisidan 24 A tok o'tayotgan o'tkazgichlar 0,5 m masofada joylashtirilgan. Ularning birinchisidan 40 sm, ikkinchisidan 30 sm uzoqlikdagi nuqtaning magnit maydon induksiyasini va maydon kuchlanganligini hisoblang.

Berilgan:

$$I_1 = 20 \text{ A}$$

$$I_2 = 24 \text{ A}$$

$$a = 0,5 \text{ m}$$

$$r_1 = 40 \text{ sm}$$

$$r_2 = 30 \text{ sm}$$

$$B=? \quad H=?$$

Yechish:

Pifagor teoremasini hisobga olib, superpozitsiya prinsipiga muvofiq,

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2$$

$$B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2}$$

To'g'ri tokli o'tkazgichning magnit maydon induksiyasi

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

$$B = \sqrt{\left(\frac{\mu_0 I_1}{2\pi r_1}\right)^2 + \left(\frac{\mu_0 I_2}{2\pi r_2}\right)^2} = \frac{\mu_0}{2\pi} \sqrt{\frac{I_1^2}{r_1^2} + \frac{I_2^2}{r_2^2}} = 189 \cdot 10^{-7} \text{ Tl}$$

$$H = \frac{B}{\mu\mu_0} = \frac{189 \cdot 10^{-7} \text{ Tl}}{1 \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \text{ kN}} \cdot 0,5 \text{ m} = 15 \text{ A/m}$$

3. Kuchlanganligi $H=32 \text{ kA/m}$ bo'lgan magnit maydoniga perpendikulyar ravishda uchib kirgan elektron $R=2 \text{ sm}$ aylana chizgan bo'lsa, u qanday potentsiallar maydonida tezlatilgan?

Berilgan:

$$H=32 \text{ kA/m}$$

$$R=2 \text{ sm}$$

Yechish:

Magnit maydonida harakatlanayotgan elektronga Lorens kuchi ta'sir etadi.

$$m = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$F_L = Be \cdot v \cdot \sin \alpha = \mu_0 \mu H e v \sin \alpha$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ kl}$$

$$\text{masala shartiga ko'ra } \sin \frac{\pi}{2} = 1; \dots \mu = 1; \dots F = \mu_0 e H v$$

$$U = ?$$

$$\text{Nyuton qonuniga muvofiq: } F = m \cdot a; \dots a = \frac{v^2}{R}$$

$$\mu_0 H e v = \frac{m v^2}{R}; \quad v = \frac{\mu_0 H e R}{m}$$

Elektronning kinetik energiyasi:

$$\frac{m v^2}{2} = e U; \quad U = \frac{m v^2}{2e}$$

Elektronning tezligini hisobga olib,

$$U = \frac{\mu_0^2 R^2 H^2 e}{2m} = 14 \text{ kV}$$

4. O'ramlarning soni 800-ta bo'lgan g'altakda tok 2,5 A -dan 4,5 A -gacha o'zgarganda, magnit oqimi $2,4 \cdot 10^{-3} \text{ Vb}$ -ga ortadi. Tok 5 A-ga teng bo'lganda, induksiya EYuK ni va magnit maydon energiyasini hisoblang.

Berilgan:

Yechish:

$$I_1 = 2,5 \text{ A}$$

Elektromagnit induksiya qonuniga ko'ra,

$$I_2 = 4,5 \text{ A}$$

$$N = 800$$

$$\varepsilon = -L \frac{dI}{dt} \quad \varepsilon = \frac{d\Phi}{dt}$$

$$\Delta \Phi = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ Vb}$$

$$I = 5 \text{ A}$$

$$\frac{d\Phi}{dt} = L \frac{dI}{dt}$$

$$\varepsilon_i = ? \quad W = ?$$

$$L = \frac{d\Phi}{dt} = \frac{800 \cdot 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ Vb}}{12A} = 0,16 \text{ Gn}$$

Magnit maydon energiyasi:

$$W = \frac{LI^2}{2} = \frac{0,16 \text{ Gn} \cdot (5A)^2}{2} = \frac{0,16 \text{ Gn} \cdot 25A^2}{2} = 2J$$

5. G'altakdagi tok 0,01 sek-da 1A -dan 2A -gacha o'zgarganda 20 V-ga teng EYuK hosil qiladi. G'altak induktivligini va magnit maydon energiyasi o'zgarishini hisoblang.

Berilgan:

Yechish:

$$t = 0,01 \text{ sek}$$

$$\text{Induksiya EYuK: } \varepsilon = -L \frac{dI}{dt}$$

$$I_1 = 1A$$

$$I_2 = 2A$$

G'altakning induktivligi:

$$\varepsilon_i = 20V$$

$$L = \frac{\varepsilon dt}{dI} = \frac{\varepsilon dt}{I_2 - I_1} = \frac{20V \cdot 0,01s}{1A} = 0,2 \text{ Gn}$$

$$L=? \quad \Delta W=?$$

Magnit maydon energiyasi o'zgarishi:

$$\Delta W = W_2 - W_1 = \frac{LI_2^2}{2} - \frac{LI_1^2}{2} = \frac{\varepsilon dt (I_2^2 - I_1^2)}{2(I_2 - I_1)} = \frac{\varepsilon dt (I_2 + I_1)}{2} = 0,3J$$

Fikrlash qobiliyatini o'stirish uchun tavsiya qilinayotgan

amaliy masalalar

1. Yuzasi 40 sm² bo'lgan mineralni induksiyasi 100 Tl bo'lgan elektromagnit separatorga joylashtirganda ta'sir etuvchi kuch topilsin?

2. Magnit kirituvchanligi katta bo'lgan rudalarni boyituvchi elektromagnit

separatorda 100 $\frac{kA}{m}$ kuchlanganlik hosil qilish uchun 50 amper tokchi simdan diametri 20 sm li o'zakka necha o'ram o'rash kerak?

3. Elektromagnit separatorning aylanish chastotasi 0,2 Gers bo'lganda massasi 50 gr bo'lgan rudaga magnit ta'siri kuchidan tashqari qancha kuch paydo bo'ladi?
4. G'altakning induksion qarshiligi 30 Om. Agar o'zgaruvchan tokning burchak chastotasi 500 sek^{-1} bo'lsa g'altakning induktivligi qancha ?
5. Zanjirga qarshiligi 5 Om induktivligi 0,5 mGn , sig'imi 0,15 nf kondensator ketma-ket ulangan qanday tokda rezonans yuz beradi? Shu chastotada kuchlanish 380 V bo'lganda zanjirda tok kuchini aniqlang ?
6. 120 o'ramga ega g'altakdagi tok 7,5 A bo'lganda magnit oqimi $2,3 \cdot 10^{-3} \text{ Vb}$ bo'lsa magnit maydon energiyasini hisoblang ?
7. Induktivligi 0,5 mGn bo'lgan g'altak 0,19 j energiyaga ega bo'lsa undagi tok kuchi qancha ?
8. O'tkazuvchan konturni kesib o'tuvchi magnit oqimi 0,6 Vb ga o'zgarganda 1,2 V gat eng induksiya EYuK vujudga kelgan bo'lsa, magnit oqimining o'zgarishga ketgan vaqtini toping. O'tkazgich qarshiligi 0,24 Om bo'lsa induksiyon tokning kuchi qanday bo'ladi ?
9. Magnit oqimi 18,8 Vb/sek tezlik bilan o'zgarishi natijasida radiusi 0,15 m aylanadagi magnit oqimi hosil qilgan uyurmali elektr maydon kuchlanganligi nimaga teng ?
10. Magnit induksiyasi 2,5 Tl bo'lgan magnit maydonida uzunligi 1,2 m bo'lgan o'zkazgich induksiya chiziqlariga tik holda 0,5 m/sek tezlik bilan harakatlanmoqda o'tkazgichdagi induksiya EYuK ni hisoblang ?
11. G'altakning induktivligi 0,1 mGn tok qanday bo'lganda magnit maydon energiyasi 1000 erg. Ga teng bo'ladi ?

12. Pasaytiruvchi transformator kuchlanishi 220 V bo'lgan tarmoqqa ulangan 2 – cho'lg'am klinmasidagi qarshiligi 12,6 Om bo'lgan iste'molchi ulangan. Agar transformatsiya koefitsienti 35 % bo'lsa tok kuchuni toping ?

13. Elektron vakuumda induksiyasi $5 \cdot 10^{-3}$ Tl bo'lgan bir jinsli magnit maydonida $10 \cdot 10^3$ km/sek tezlik bilan harakatlanmoqda. Elektroniga ta'sir etuvchi kuchning eng katta qiymatini va aylana radiusini hisoblang ?

14. Mass-spektrometrdagi bir marta ionlashgan zarracha magnit induksiyasi 0,1 Tl bo'lgan bir jinsli magnit maydonida 956 km/soat tezlik bilan , diametrik 20 sm li aylana bo'lylab harakat qiladi. Uning masasini toping?

“Magnetizm” bobiga doir yakuniy nazorat uchun savollar va tayanch iboralar namunalari.

1. Magnit maydoni va uni xarakterlovchi kattaliklar.

Magnit maydoni. Magnit maydonb induksiyasi va uning birligi magnit momenti. Magnit induksiya vektori chiziqlari manzarasi (har xil toklar).

2. Tokli o'tkazgichning magnit maydoni. Bio – Savar-Laplas qonuni va uning tadbiqlari.

Bio–Savar-Laplas qonuni va uning tadbiqlari. (To'g'ri va aylanma tokli o'tkazgichlar uchun)

3. Magnit induksiya vektorining tsirkulyatsiyasi. Solenoid maydoni. Magnit maydoni hossalari.

Magnit induksiya vektorining tsirkulyatsiyasi. Magnit maydoni hossalari. Solenoid , Tarroyid maydoning induksiyasi.

4. Moddalarning magnitlanishi. Magnitlanish vektori.

Moddalarning magnitlanishi. Moddaning magnit maydoni μ - magnit doimiysi χ - magnit singdruvchanlik va ularning temperaturaga bog'liqligi. Magnit maydoni kuchlanganligi. Magnitlanish vektori. Magnit maydon kuchlanganligi uchun Gaus teoremasi.

5. Magnit kuchlari.

Magnit maydoni. Lorens kuchi. Amper kuchi. Parallel toklarning o'zaro ta'siri kuchi. Holl effekti, Holl doimiysi.

6. Zaryadli zarachalarning tezlatkichlari.

Zaryadli zarachalarning tezlatkichlari. Aylanish davri. Siklotron.

7. Magnitiklar.

Diomagnitiklar. Paramagnitiklar va ularning hossalari. Magnitlanish vektori. Moddalarning magnit maydoni induksiyasi. Giromagnit nisbat elektron spini.

8. Ferromagnitiklar.

Ferromagnitiklar. Ferromagnit moddalarning hossalari. Ferromagnit gistrezis. Kyuri nuqtasi, qoldiq magnitlanish. Koyertsativ kuch, domenlar.

9. Magnit kuchlarning bajargan ishi.

Magnit induksiya vektorining oqimi. Gaus teoremasi. Magnit kuchlarining tokli o'tkazgichni ko'chirishda bajargan ish. Magnit maydoni energiyasi. Magnit maydonida tokli kontrni ko'chirishda bajarilgan ish.

10. Elektromagnit induksiya hodisasi. Induksiya EYuK. Lens qonuni.

Elektromagnit induksiya hodisasi. Faradey tajribasi. Induksiya EYuK. Lens qonuni. Induktivlik. induktivlik koeffisienti, birligi.

11. Uzaro induktivlik. Transformatorlar.

O'zaro induksiya hodisasi, o'zaro induktivlik koeffitsienti. Transformator. Transformasiya koeffitsienti yuksaltiruvchi va pasaytiruvchi transformatorlar.

12. Magnit maydon energiyasi. Energiya zichligi.

Magnit maydon energiyasi. Energiya zichligi va uning birligi.

13. Siljish toki. Elektrodinamikaning asosiy qonunlari.

Uyurmali elektr maydon. Elektrodinamikaning 1-chi va II-chi asosiy qonunlari.

14. Elektr tebranishlar.

Elektr tebranishlar va uning differentsial xamda parametrik tenglamasi. Amplituda, davr, chastota, faza, grafigi, tebrainsh konturi, Tomson formulasi.

15. So'nuvchi elektr tebranishlar.

So'nuvchi elektr tebranishlar. So'nuvchi tebranishlar tenglamasi, ularning grafigi, so'nishning logarifmik dekrementi, konturning aslligi.

16. Majburiy elektr tebranishlar.

Majburiy elektr tebranishlar. Tok kuchi. Kuchlanishning amplituda qiymati. To'liq qarshilik. Aktiv, reaktiv, induktiv va sig'im qarshnliklar. Rezonans.

17. Elektromagnit to'lqinlar.

Elektromagnit to'lqinlar. To'lqin grafigi, to'lqin uzunligi, to'lqin soni, tarqalish tezligi.

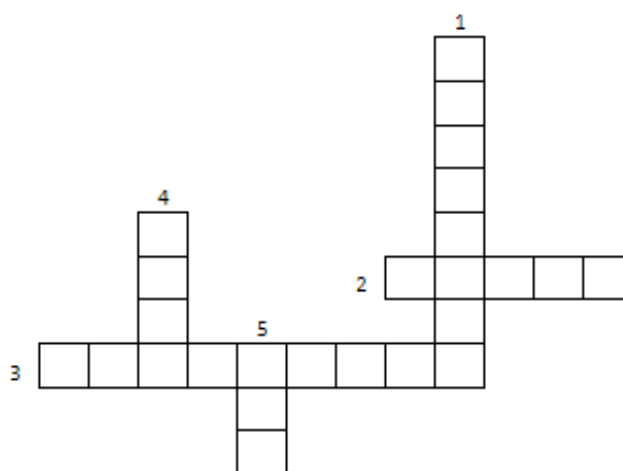
18. Gers tajribasi.

Gerts vibratori. Ochik tebranish konturi, rezonator, elektromagnit tebranishlar generatori. Radioaloqa prinsiplari.

19. Elektromagnit to'lqin energiyasi.

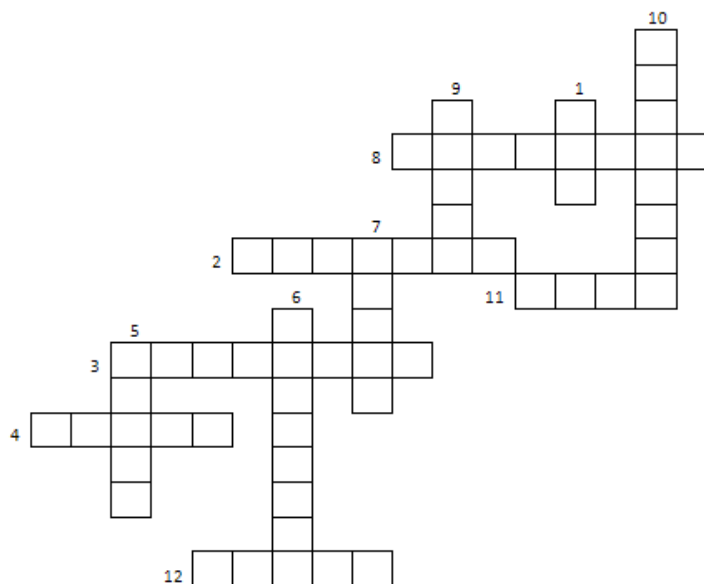
Elektromagnit to'lqin hossalari. Elektromagnit to'lqin energiyasi. Energiya zichligi, Umov-Poyting vektori.

“Dielektriklar” krossvordi



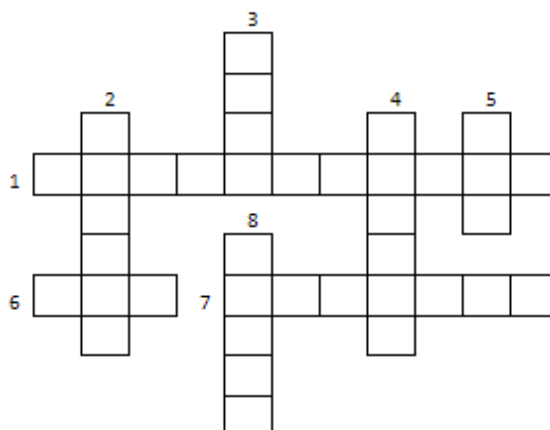
Berilgan kataklar mos ravishda dielektriklar bilan to'ldirilsin

“Metallar” krossvordi



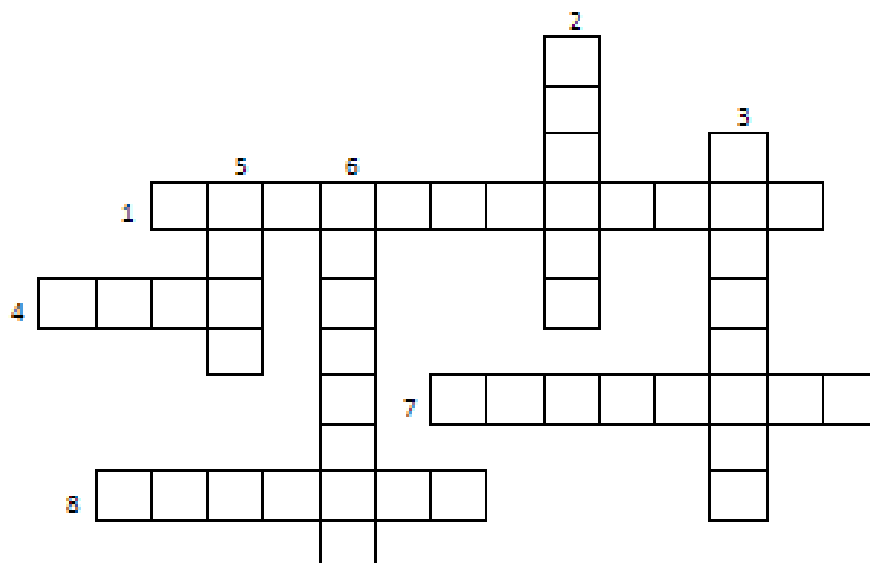
Berilgan kataklar mos ravishda metallar bilan to'ldirilsin

“Diamagnitiklar” krossvordi



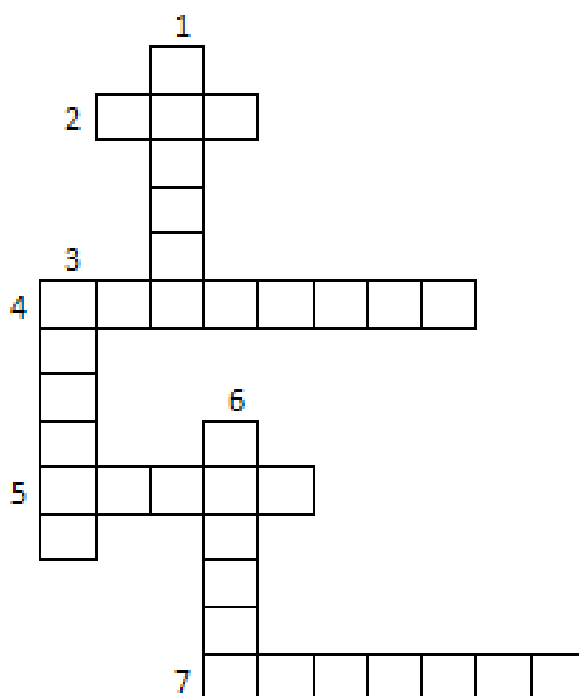
Berilgan kataklar mos ravishda diamagnitiklar bilan to'ldirilsin

“Paramagnitiklar” krossvordi



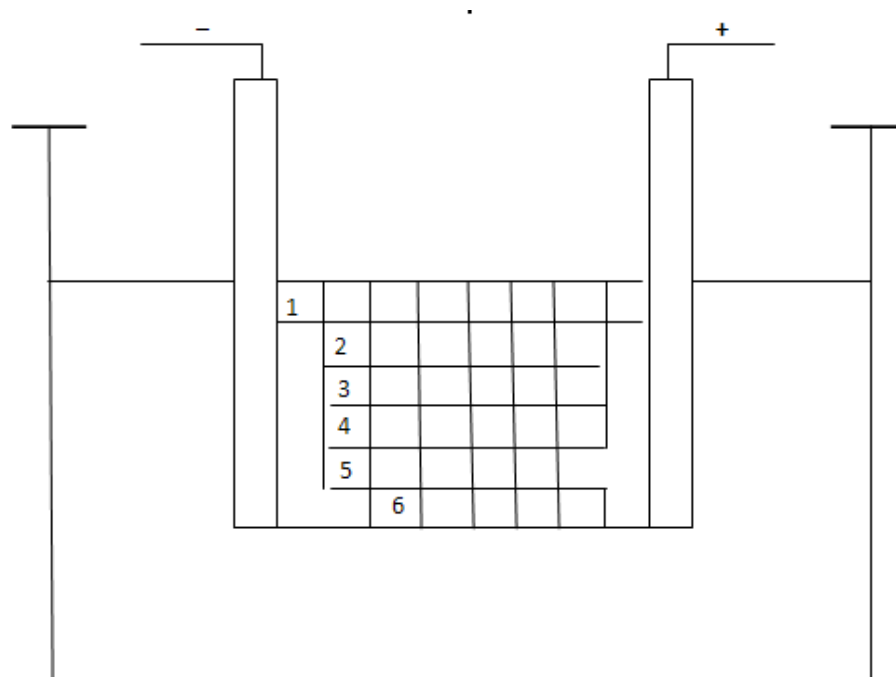
Berilgan kataklar mos ravishda paramagnitiklar bilan to'ldirilsin

“Yarim o’tkazgichlar” krossvordi



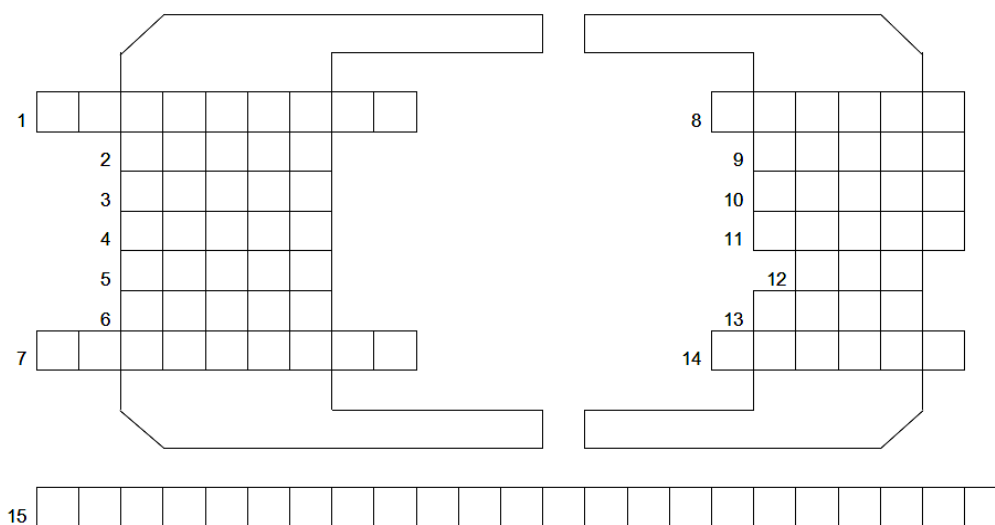
Berilgan kataklar mos ravishda yarim o’tkazgichlar bilan to’ldirilsin

O’yla, izla, top!



Tasvirlangan hodisaga asosan, krossvord tayanch iboralar bilan to’ldirilsin

“Fizik olimlari” krossvordi



γ-zarrachalar bilan tajriba o'tkazgan olim

Parallel tokni uzaro ta'sirini aniqlagan olim

Issiqlik ta'sirini kuzatgan olim

Elektr o'tkazuvchanlikning elektron nazariyasini yaratgan olim

Zaryadlar urtasidari o'zaro ta'asir qonunini kashfiyotchisi

Elektrotexnika sohasida katta hissa qushgan olim

O'ta o'tkazuvchanlikni kashf etgan olim

Termoelektr hodisasini o'rgangan olim

Induksion tok yo'nalishini aniqlagan olim

Viberator kashfiyotchisi

Radiy, Poloniy kashf etgan olim

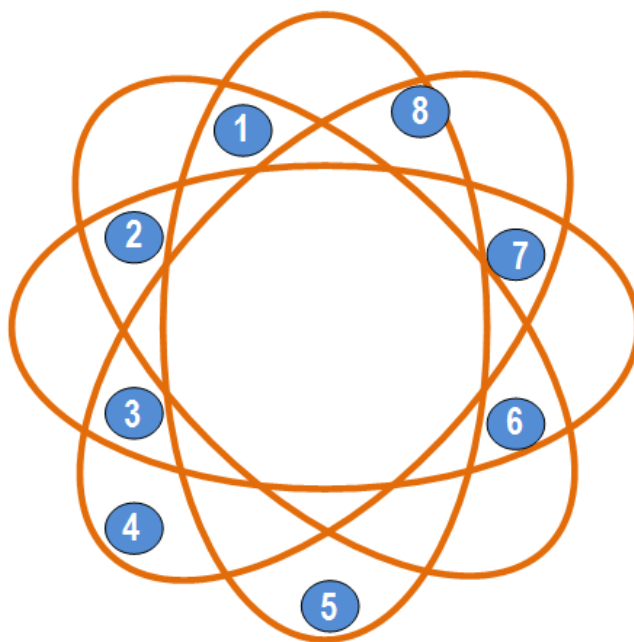
Radioaktivlik sohasida yirik tadqiqitchi olim

Magnit maydoni bilan bog'lik, hodisalarni o'rgangan olim

Elektr tokining magnit maydoni o'rgangan olim

Nobel mukofoti lauriyati

O'ylab top!



1. Tebranishlarni xarakterlovchi kattaliklardan biri;
2. O'z-o'zidan parchalanuvchi zarra;
3. Elementning eng kichik bo'lagi;
4. Uchkazuvchanlikni xarakterlovchi kattalik;
5. Fizik olim nomi;
6. Eng kichik vaqt oralig'i belgisi;
7. Magnitning eng kuchli ta'sir etuvchi nuqtasi;
8. Eng oliy xakam -

O'ylab top!

Chap va o'ng tomonga mos xarflarni shunday qo'yingki, fizikaga oid so'zlar hosil bo'lsin

Ka

Ra

Io

At

Da

Ba

Za

Kin

Kat

Sa

Im

Ra

Zo

In

At

Ka

Al

Ta

Ma

Ur

Tr

Ta

Da

Za

Od

At

Ta

Na

Ra

Na

Ch

Um

Or

Ish

La

Im

Ton

Di

Oi

Yad

At

Is

Ish

Sh

At

Ka

JAVOBLAR

“O’ylab top!”

fizi	ka	tod
zar	ra	diy
rad	io	n
nisb	at	om
mod	da	vr
tajri	ba	rometr
gipote	za	ng
er	kin	etik
hara	kat	ta
mas	sa	var
kes	im	puls
temperatu	ra	dioaktivlik
fa	zo	na
to‘lq	in	terferensiya
quvv	at	mosfera
opti	ka	merton
potensi	al	fa
bet	ta	sir
aralash	ma	sofa
kont	ur	an
elek	tr	ansformator
chasto	ta	biat
amplitu	da	vr
fa	za	rba
vodor	od	diy
qiym	at	mosfera
orbi	ta	savvur
pruji	na	ycha
o‘	ra	don
anten	na	muna

ku	ch	iziq
maksim	um	umiy
generat	or	bita
tezlan	ish	lov
moleku	la	plas
bos	im	puls
nyu	ton	na
yig'in	di	namika
strobosk	op	tika
zar	yad	ro
harak	at	vud
gisterez	is	siklik
magnitlan	ish	kalanish
tovu	sh	ovkin
reost	at	rof
plit	ka	lit

“Dielektriklar” krossvordi

- | | | |
|-------------|---------------|--------|
| 1. Keramika | 3. Plastmassa | 5. Mum |
| 2. Chinni | 4. Shisha | |

“Metallar” krossvordi

- | | | | |
|----------------|------------|--------------|--------------|
| 1. Mis | 4. Po'lat | 7. Temir | 10. Molibden |
| 2. Platina | 5. Qalay | 8. Alyuminiy | 11. Cho'yan |
| 3. Qo'rg'oshin | 6. Volfram | 9. Oltin | 12. kumush |

“Diamagnitiklar” krossvordi

- | | | | |
|----------------|-----------|--------|------------|
| 1. Diamagnitik | 3. Shisha | 5. Mis | 7. Vodorod |
| 2. Vismut | 4. Benzol | 6. Suv | 8. Kvars |

“Paramagnitiklar” krossvordi

- | | | | |
|-----------------|------------|-------------|---------|
| 1. Paramagnitik | 2. Ebonite | 3. Kislorod | 4. Havo |
|-----------------|------------|-------------|---------|

5. Azot 6. Alyuminiy 7. Volfram 8. Platina

“Yarim o’tkazgichlar” krossvordi

1. Fosfor 3. Galliy 5. Indiy 7. Kremniy
2. Bor 4. Germaniy 6. Mishyak

“O’yla, izla, top!” krossvordi

1. Elektrod 3. Kation 5. Anion
2. Eritma 4. Ionlar 6. Zaryad

“Fizik olimlari” krossvordi

1. Rezerford 7. Komerling 13. Holl
2. Amper 8. Zeebek 14. Ersted
3. Joul 9. Lens 15. Mariya
4. Drude 10. Gers Skladovskaya Kyuri
5. Kulon 11. Kyuri
6. Tesla 12. Pyer

“O’ylab top!” krossvordi

1. Davr
2. Yadro
3. Atom
4. Zona
5. Fuko
6. Tau
7. Qutb
8. Vaqt

Bilimni mustaqil rivojlantirish uchun quyidagi o'quv va ilmiy adabiyotlar tavsiya etiladi.

1. Kelly P.F “ Electricity and magnetism” 2015 y by Taylor & Francis Group
2. Ismonlov M., Xabubo'llaev P., Xaliulin M.. Fizika kursi “Uzbekistan”, 2000.
3. Richard Carter “Electromagnetism for electronic engineers” 2010.
4. Edward M. Purcell, David J.Morin “Electricity and magnetism” Cambridge University Press 2013.
5. Калашников С.Г. Электричество Москва 2014.
6. Грибов Л.А. Прокоева П.И. Основы изики. “Гардарика” 2011.
7. Шерклифф И. Физика “Мир” 1999.
8. Чертов А.Г., Воробёв А.А. Физикадан масалалар тўплами. “Uzbekistan” 007.
9. Делное Д. “Занимательная физика” Мир. 2008.
10. Савелев И.В.Курс общей физики М. Наука 2009.
11. Трафимова Т.И. Курс физики: Высшая школа. 2007.
12. Joki V. Experiment. Avstria 2002.
13. Fridman L.F.. Generalisation tables in forming physics notions. Weinna 1999.
14. Шерклинг К. Физика для одаренных Новосибирск 2008.
15. Эрик М.Р. физика для любознательных Москва 2009.
16. Детлаф А.А. Яворский Б.М. Курс физики. Москва 2012 g
17. Tursunov Q.Sh Fizika fani. Toshkent 2014.
18. Савелев И.В. Курс общей физики. Москва 2014.
19. Ботаки А.А. Улямов В.Л. Основы физики. Томск 2005.

**Fizik kattaliklarning to'plamda qabul qilingan birliklari
va birliklar haqida ba'zi ma'lumotlar**

Xususiy nomga ega bo'lgan fizik kattaliklarning SI dagi birliklari

Kattalik	Belgisi	Birlik	
Aktiv qarshilik	R	Om	Om
Bolsman doimiysi	k	Joul taqsim gradus	J/K
Dipolning elektr momenti	P	Kulon ko'paytirilgan metr	Kl·m
Zarrachaning magnit moment	M	Joul taqsim Tesla	J/Tl
Zaryad miqdori	Q	Kulon	Kl
Induktivlik	L	Genri	Gn
Issiqlik miqdori	Q	Joul	J
Ish	A	Joul	J
Kuch moment	M	Nyuton ko'paytirilgan metr	N·m
Magnit doimiysi	μ_0	Genri taqsim metr	Gn/m
Magnit maydon kuchlanganligi	H	Amper taqsim metr	A/m
Magnit maydon induksiyasi	B	Tesla	Tl
Magnit oqimi	Φ_B	Veber	Vb
Magnitlanganlik	J	Amper taqsim metr	A/m
Massa	M	kilogramm	kg
Potensiallar farqi (kuchlanish)	U	Volt	V
Solishtirma elektr qarshilik	ρ	Om ko'paytirilgan metr	Om·m
Tebranish davri	T	Sekund	s

Tebranish chastotasi	N	Gerts	Gs
Termodinamik harorat	T	Kelvin	K
Tok kuchi	I	Amper	A
Tulqin uzunligi	λ	metr	m
Elektr zaryadning chiziqli zichligi	T	Kulon taqsim metr	Kl/m
Elektr zaryadning sirt zichligi	σ	Kulon taqsim metr kvadrat	Kl/m ²
Elektr zaryadning hajm zichligi	ρ	Kulon taqsim metr kub	Kl/m ³
Elektr maydon kuchlanganligi	E	Volt taqsim metr	V/m
Elektr maydon potentsiali	ϕ	Volt	V
Elektr siljish	D	Kulon taqsim metr kvadrat	Kl/m ²
Elektr sig'im	C	Farada	F
Elektr toki zichligi	J	Amper taqsim metr kvadrat	A/ m ²
Elektr yurituvchi kuch	ξ	Volt	V
Elektr maydon energiyasi	W	Joul	J
Energiyaning hajm zichligi	ω	Joul taqsim metr kub	J/ m ³
Quvvat	P, N	Vatt	Vt

MUNDARIJA

Soʻz boshi	4
-------------------	---

I bob Elektrostatika

1.1.	Elektr zaryadi. Jismlarning elektrlanishi	6
1.2.	Elektrostatikaning asosiy qonuni – Kulon qonuni	8
1.3.	Elektrostatik maydon kuchlanganligi	11
1.4.	Elektr maydon kuchlanganlik vektorining oqimi. Gauss teoremasi va uning tadbiqlari	18
1.5.	Elektrostatik maydonda zaryadni koʻchirishda bajariladigan ish	27
1.6.	Elektr maydonining potentsiali	30
1.7.	Ekvipotensial sirtlar	32
1.8.	Elektr maydonda dielektriklar. Elektr siljish vektori	34
1.9.	Signetoelektriklar	38
1.10.	Pezoelektrik effekt	39
1.11.	Elektr maydonida oʻtkazgichlar	41
1.12.	Yakkalangan oʻtkazich elektr sigʻimi	44
1.13.	Kondensatorlar	46
1.14.	Elektr maydon energiyasi	56
	Bilimning mustaqil nazorati uchun test toʻplami	59
	Masalalar yechish namunalari	71
	Fikrlash qobiliyatini oʻstirish uchun tavsiya qilinayotgan amaliy masalalar	76
	“Elektrostatika” bobiga doir yakuniy nazorat uchun savollar va tayanch iboralar namunalari	77

II bob Oʻzgarmas elektr toki

2.1.	Elektr toki. Tok kuchi. Tok zichligi	79
2.2.	Elektr yurituvchi kuch	81
2.3.	Zanjairning bir jinsli qismi uchun Om qonuni. Oʻtkazichlarning qarshiligi	83
2.4.	Berk zanjir uchun Om qonuni	88
2.5.	Joul-Lens qonuni	89

2.6.	Tarmoqlangan zanjirlar uchun Kirxgof qoidasi	91
2.7.	Elektrolitlarda elektr toki	92
2.8.	Gazalarda elektr toki	96
2.9.	Mustaqil razryad va uning turlari	99
2.10.	Metallarda elektr tokining elektron nazariyasi. Metallarda elektr toki elektronlarning oqimidan iboratligini tasdiqlovchi tajribalar	108
2.11.	Metallarning elektr o'tkazuvchanlik nazariyasi	110
2.12.	Metallarda elektr o'tkazuvchanlikning Zonalar nazariyasi asoslari	119
2.13.	Vakuumda elektr toki	128
2.14.	Yarimo'tkazgichlarda elektr toki. Xususiy o'tkazuvchanlik	130
2.15.	Aralashmali o'tkazuvchanlik	133
	Bilimning mustaqil nazorati uchun test to'plami	142
	Masalalar yechish namunalari	153
	Fikrlash qobiliyatini o'stirish uchun tavsiya qilinayotgan amaliy masalalar	155
	“O'zgarmas elektr toki” bobiga doir yakuniy nazorat uchun savollar va tayanch iboralar namunalari	153

III bob Magnetizm

3.1.	Magnit maydoni va uni xarakterlovchi kattaliklar	158
3.2.	Bio-Savar-Laplas qonuni	161
3.3.	Magnit maydonida harakatlanuvchi zaryadli zarrachalarga ta'sir etuvchi kuchlar. Lorents kuchi	168
3.4.	Amper kuchi	169
3.5.	Xoll effekti	172
3.6.	Moddalarning magnit maydoni. Magnit maydon kuchlanganligi	175
3.7.	Magnit oqimi. Gauss teoremasi	179
3.8.	Magnit maydonida tokli o'tkazgichni ko'chirishda bajarilgan ish	181
3.9.	Magnitiklar. Gisterezis hodisasi	183
3.10.	Elektromagnit induksiya hodisasi	198

3.11. Induksiya elektr yurituvchi kuch	199
3.12. O'zinduksiya hodisasi	200
3.13. O'zaro induksiya hodisasi	201
3.14. Magnit maydon energiyasi.	210
3.15. Uyurmaviy elektr maydon. Maksvell tenglamalari	213
3.16. Siljish toki	214
3.17. Maksvell tenglamalari	218

IV bob. Elektr tebranishlar

4.1. Elektromagnit tebralanishlar va to'lqinlar	221
4.2. So'nuvchi elektr tebralanishlar	224
4.3. Majburiy elektr tebralanishlar	226
4.4. Elektromagnit to'lqinlar	229
4.5. Gerts tajribasi	231
4.6. Elektromagnit maydon energiya oqimining zichligi	233
4.7. Dipolning nurlanishi	233
Bilimning mustaqil nazorati uchun test to'plami	237
Masalalar yechish namunalari	248
Fikrlash qobiliyatini o'stirish uchun tavsiya qilinayotgan amaliy masalalar	254
“Magnetizm” bobiga doir yakuniy nazorat uchun savollar va tayanch iboralar namunalari	256
Fizik boshqotirmalar	259
Javoblar	266
Adabiyotlar	269
Fizik kattaliklarning to'plamda qabul qilingan birliklari va birliklar haqida ba'zi ma'lumotlar	270