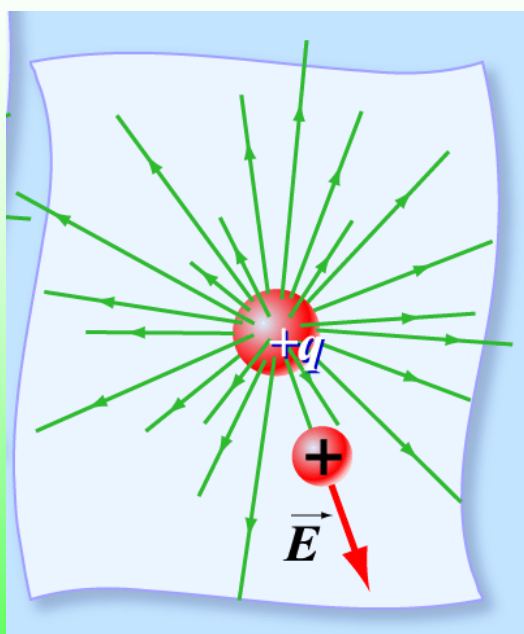


FIZIKA

ELEKTR VA MAGNETIZM

ma'ruzalar to'plami



**O'zbekiston Respublikasi
Navoiy kon metallurgiya kombinati
Navoiy davlat konchilik instituti**

**«FIZIKA» FANIDAN
MA'RUZA MATNLARI**

Elektr va magnitezm

Navoiy–2013

Ushbu o'quv qo'llanma oliy texnika o'quv yurtlarining muhandis – texnik mutaxassisligi bo'yicha bakalavrlar uchun mo'ljallangan bo'lib, u amaldagi “Kadrlar tayyorlash milliy dasturi” va “Davlat ta'lim standartlari” hujjatlariga hamda fizika fanini o'qitishining namunaviy dasturiga asoslanib yaratilgan. Bundagi 12 ta ma'ruza matnidan iborat to'plam elektr va magnetizm kursining asosiy mavzularini to'liq qamrab olgan. Uning har birida mavzu rejasi va yetarlicha o'zlashtirish uchun sinov savollari keltirilgan.

Mualliflar: Bozorova S. J
Kamolov N. K

Taqrizchilar: To'rayev E. S
Xudoyberdiyev E. N

Ma'ruzalar matni Fizika kafedrasining majlisida muxokama qilingan va ma`qullangan.

(Bayonnoma № 7.1 09.02.2013 y.)

KIRISH

Qadimdan insoniyat elektr va magnit hodisalarni kuzatib, ular haqida o'z qarashlarni aytib o'tganalar. masalan eramizdan avvalgi 7-asrda qadimgi grek olimi Fales qaxraboni ipak matoga ishqalaganda u engil jismlarni o'ziga tortishini ko'rsatib o'tgan. 16-asr oxiriga kelib, ingliz vrachi va fizigi V.Gil'bert bir qator tajribalar o'tkazib, nafaqat qaxrabo ahuningdek shisha, forfor va boshqa jismlarni mo'yna yoki shoyi kabi yumshoq matolar bilan ishqalaganda ham ularda tortish xususiyati paydo bo'lishini aniqladi. U bu xodisani **elektrlanish** (qaxrabo grekcha so'z bo'lib, — elektron demakdir)deb atadi.

Elektrostatikaning birinchi miqdoriy qonunini 1785 yilda Sh.Kulon tajriba yo'li bilan aniqladi. Oradan 1 yil o'tib, L.Gal'vani elektr toki hodisasini kashf etdi. 1799 yilda A.Vol'ta birinchi bo'lib, barqaror elektr yurituvchi kuch (E.Yu.K). manbasini yaratdi.

1820 yilda X.Ersted magnit va tok orasidagi ta'sirlashuvni kuzatdi. A.Amper esa toklarning o'zaro ta'sirlashuvini o'rganib, bu hodisani hisoblash usulini ko'rsatib berdi.

1826 yilda G.Om metall o'tkazgichdagi tok kuchi va kuchlanishni bir-biri bilan bog'lovchi qonunni aniqlab, uni nazariy jixatdan asoslab berdi.

1831 yilda M.Faradey barcha amaliy elektrotexnika va radiotexnikaning asosida yotuvchi elektromagnit induksiya hodisasini kashf etdi. U 1833 yilda elektroliz qonunini tajribaviy usulda aniqladi. Bu qonun elektr zaryadlarining diskretligini tasdiqlashiga asos bo'ldi. 1845 yilda Faradey magnit maydonida joylashgan modda orqali yorug'lik o'tganida shu yorug'lik tebranishlari tekisligining o'zgarishini kuzatdi. Bu fakt yorug'lik va elektr o'rtasidagi bog'lanishdan dalolat beradi. Faradey 19 asrning 30-50 yillaridayoq birinchi bo'lib elektr va magnit maydonlar tushunchasini kuzatdi.

1841-1842 yillarda E.X.Lents va Dj.Djoul' tokning issiqlik ta'siri qonunini aniqladilar. Faradeyning tadqiqot ishlari bazasida toklar elektrotexnikasi rivojlandi, o'zgarmas va o'zgaruvchan tok generatorlari va dvigatellari yaratildi, elektroenergiyani uzoq masofalarga uzatish imkonini beruvchi qurilma transformatorlar paydo bo'ldi.

1853 yilda Kel'vin (U.Tomson) past chastotali elektromagnit tebranishlarini olishga muvofiq bo'ldi va uning nazariyasini ishlab chiqdi.

1860-1865 yillarda Dj.Maksvell to'plangan barcha ilmiy materiallarni umumlashtirib, elektromagnit maydon nazariyasini yaratdi, elektromagnit to'lqinlar mavjudligini bashorat qildi, yorug'likning elektromagnit tabiatga ega ekanligini tasdiqladi (1873y.) va yorug'lik bosimini nazariy hisobladi.

1887-1888 yillarda G.Gerts tajribada uzun elektromagnit to'lqinlarni oldi. P.N.Lebedov yorug'likning qattiq jism va zaryadga ko'rsatadigan bosimni tajribada bevosita o'lchab, Maksvellning hisoblari to'g'ri ekanligini isbotladi.

1881 yilda nemis fizigi va fiziologi G.Gel'mgolts moddalarda elementar elektr zaryadli zarrachalar mavjud degan gipotezani ilgari suradi. Keyinchalik bu gipoteza (1897 yilda ingliz fizigi Dj.Tomson tomonidan)elektronning va (1919 yilda ingliz fizigi E.Rezerford tomonidan) protonning ochilishi bilan o'z isbotini topdi. 1911 yilda R.Milliken elektronning zaryadini o'lchab, - uning zaryadi diskret ekanligini isbotladi. Tashqi fotoeffekt xodisasi (G.Gerts 1888y.) va unga tegishli qonunlarning (A.G.Stoletov, 1888y., A.Eynshteyn 1905y.) kashf etilishi, shuningdek, qizdirilgan metallardan elektronning ajralib chiqishi xodisasi (T.Edison 1883y.) vakuumli elektron lampasi (Dj.Fleming 1904y.) yaratishga va radiotelefoniyasi usullarini ishlab chiqishga imkoniyat yaratdi.

1895 yilda A.S. Popov radiotelegrafiyaning kashf etdi.XX asrning 30 – yillarida yarimo'tkazgichlarini faol o'rganish boshlandi, uning natijasi o'laroq 1948 yilda U.Shokli va boshqalar tomonidan tranzistor kashf etdi. Yarim o'tkazgichlarni amaliy o'zlashtirish zamonaviy elektronika, yuqori sifatli televideniya va elektron xisoblash mashinalarining yaratilishiga olib keldi. Shuningdek, sanoatning turli tarmoqlari uchun misli ko'rinmagan rivojlanish imkoniyatlari ochildi.

1911 yilda K.Kamerling – Onnes tomonidan o'ta o'tkazuvchanlik xodisasi kashf etildi. 1986-1997 yillarda qarshiligi $T \approx 100K$ temperaturada xam nolga teng bo'luvchi yangi materiallar yaratildi. Uning asosida elektr energiyasini uzatuvchi va hozirda to'plovchi qurilmalarni mukammallashtirish, yangi rusumdagi transport vositalarini ishlab chiqish imkoniyati paydo bo'ldi.

1- ma'ruza. ELEKTROSTATIKA

Reja

1. Elektr zaryadi. Zaryadning diskretligi. Elektr zaryadining saqlanish qonuni.
2. Elektrostatikaning asosiy qonuni – Kulon qonuni
3. Elektr maydoni. Maydon kuchlanganligi. Nuqtaviy zaryad maydonning kuchlanganligi.
4. Superpozitsiya prinsipi. Nuqtaviy zaryadlar tizimining maydon kuchlanganligi.
5. Gaussning elektrostatik teoremasi va uning sodda elektr maydonlarini hisoblashda qo'llanilishi

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.

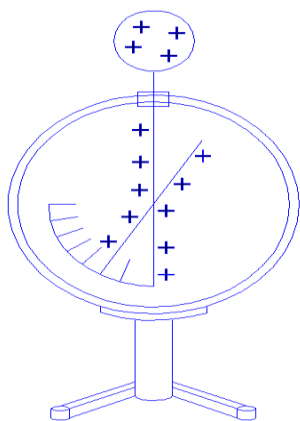
Elektr yunoncha “elektron” so'zidan olingan bo'lib, qahrabo demakdir. Jismlarning ishqalanishi tufayli o'ziga yengil buyumlarni tortishi elektrlangan yoki zaryadlangan deb hisoblanadi.

Umuman, elektr hodisalari qadimdan kuzatilib kelinadi. Masalan: chaqmoq, avliyo Elma chiroqlari, qutb yog'dusi, shuningdek, mo'yna yoki junga ishqalangan qahraboning o'ziga yengil buyumlar (pat, qog'oz qirqimlari, soch tolalari)ni tortishi kabilar. 1600 yilda ingliz olimi Gilbert yigirmaga yaqin moddalar (olmos, xrustal, oltingugurt)ning qahraboga o'xshash yengil buyumlarni tortish qobiliyatini namoyon qilishini italiyalik Galvani esa elektrning fiziologik ta'sirini aniqlagan.

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

Elektr haqidagi ta'limot hozirgi zamon fan – texnika, ishlab chiqarish hamda xalq xo'jaligining barcha tarmoqlarini rivojlantirishda asosiy hal qiluvchi va yetakchi kuchga aylangan.

Jismlarni elektrlanish darajasini aniqlashda G.Rixman tomonidan kashf etilgan elektrometrda foydalaniladi (1.1 - rasm).



1.1 – rasm

Sodda tajribalarda elektrlangan jismlar ba'zan bir – birlari bilan itarishsa, ba'zan bir – birlari bilan tortishishlari kuzatiladi. Bu esa elektr zaryadining 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 manfiy deb qabul qilingan. Bir xil ishorali zaryadlangan jismlar bir – birlari bilan itarishadi, har xil ishorali zaryadlangan jismlar bir – biriga tortiladi.

Jismlarning elektrlanishini tushuntirishda ularning atom molekulyar tuzilishiga asoslanamiz. Hozirgi zamon tasavvurlariga muvofiq moddalar yanada soddaroq tarkibiy

qismga ajralmaydigan elementar zarrachalar (elektron, proton, pozitron, neytron, neytrino)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 elementar 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 obyektib 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 jihatidan neytral (zaryadsiz) bo'ladi. Agar biror usul bilan (ishqalanish, elektr induksiya, ionlashtirish) jismdagi ma'lum ishorali zaryadli zarrachalar qayta taqsimlansa, bu jism zaryadlagan bo'ladi. Jismlarni bunday elektrlashda ularning har ikkalasi (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 karralidir.

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

e-elementar zaryad miqdori.

Elektr zaryadi obyektiv reallik bo'lib, u g'oyibdan vujudga kelmaydi va o'z – o'zidan yo'qolmaydi ham. 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 yarim o'tkazgichlarga ajratiladi.

Elektrostatikaning 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 orasidagi masofaga nisbatan kichik bo'lgan zaryadlangan jismlarga aytiladi.*

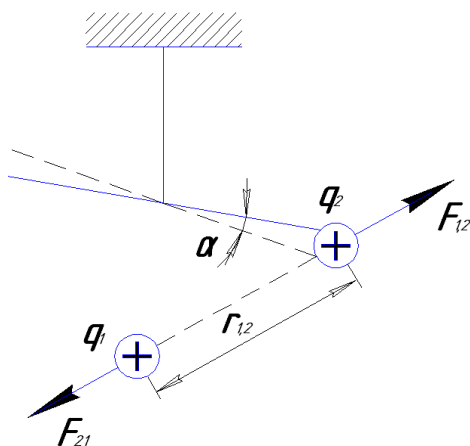
Nuqtaviy zaryadlarning o'zaro ta'sir qonunini 1785 – yilda fransuz olimi Kulon buralma tarozi yordamida tajribada aniqlagan (1.2 - rasm).

Kulon qonuniga muvofiq *vakuumdagi joylashgan ikki nuqtaviy zaryad, zaryad miqdorlarining ko'paytmasiga to'g'ri proporsional kuch bilan ta'sirlashadi.* Agar zaryadlar bir xil ishorali bo'lsa, bu kuch ularning tutashtiruvchi to'g'ri chiziq bo'ylab

yo'nalgan bo'lib itarishish, aksincha, q arama – qarshi ishorali bo'lsa, tortishish xarakteriga ega bo'ladi. Kulon qonuni quyidagicha ifodalanadi:

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

k – proporsionallik koeffitsiyenti.



1.2 – rasm

(1.3)-formuladagi kuch va masofani 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 koeffitsiyenti (k=1) 1 ga teng deb olinadi.

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

Agar $|q_1| = |q_2| = q$ bo'lsa, zaryad miqdorining birligi quyidagi ifodadan aniqlanadi.

$$[q] = [r \cdot \sqrt{F}] = [1\text{sm} \cdot \sqrt{1\text{din}}] = [1\text{SGSE} \cdot \text{zaryadbirligi}]$$

Bu shunday zaryadning miqdoriki, vakuumda joylashgan zaryad, o'ziga teng zaryad miqdoriga bir santimetr masofadan bir 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'tkazgichning ko'ndalang kesim yuzidan bir sekundda 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 miqdorining SI-sistemadagi qiymati quyidagiga teng:

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

Kulon qonunini SI-sistema (ratsionallashtirilgan ko'rinish) da ifodalash uchun, $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ tarzida yozish kelishilgan. U holda kulon qonuni quyidagicha ko'rinishda ifodalanadi:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (1.5)$$

ϵ_0 - absolyut elektrostatik doimiy.

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

$$\epsilon_0 = \frac{q_1 q_2}{4\pi F r^2} = \frac{1 \text{ Kl}^2}{4 \cdot 3,14 \cdot 9 \cdot 10^9 \cdot \text{N} \cdot \text{m}^2} = 8,86 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Kl}^2}{\text{Nm}^2} \quad (1.6)$$

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

Agar zaryadlarning vakuumda o'zaro ta'sir kuchini F_0 deb, modda ichida F -deb belgilansa, $\varepsilon = \frac{F_0}{F}$ nisbat moddalarning elektr xususiyatini belgilaydi va dielektrik singdiruvchanlik deb ataladi. Dielektrik sindiruvchanlik zaryadlangan zarrachalarning muhitdagi o'zaro ta'sir kuchi vakuumdagi o'zaro ta'sir kuchidan necha marta kichikligini bildiradi va har xil moddalar uchun turli qiymatga ega.

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

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (1.7)$$

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 (gravitasion, yadroviy) bilan aralashtirib yuborishga yo'l qo'yilmaydi: Elektr maydoni boshqa xil maydonlar kabi moddiy olam materiyaning o'ziga xos yashash formasi bo'lib, u obyektiv reallikdir.

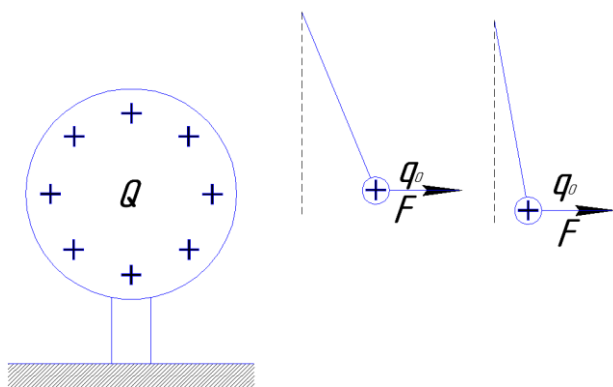
- a) Elektr maydoni faqat zaryadga bo'lgan ta'sir orqali namoyon bo'ladi.
- b) Elektr maydoni faqat zaryadlangan jismlar atrofida mavjud.
- c) Elektromagnit o'zaro ta'sir juda katta, lekin chekli tezlik bilan uzatiladi. ($3 \cdot 10^8$ m/sek)

Elektr maydonini 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:

$$F = q_s \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \quad (1.8)$$

Vektor ko'rinishda

$$\vec{F} = q_s \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^3} \vec{r} \quad (1.9)$$



1.3 – rasm

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

$$\left. \begin{aligned} F_1 &= q_s \left(\frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \right) \\ F_2 &= q_s \left(\frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \right) \\ &\dots\dots\dots \\ F_n &= q_s \left(\frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \right) \end{aligned} \right\} \quad (1.10)$$

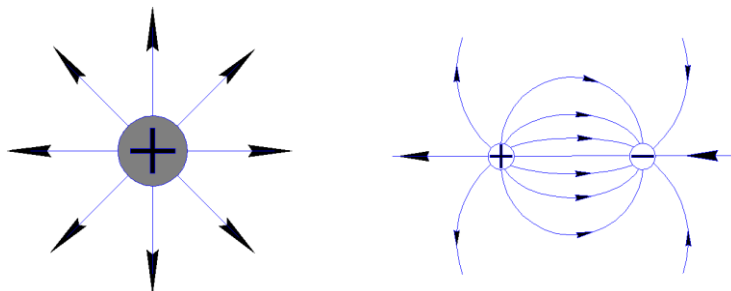
Bu kuchlarning sinov zaryadiga nisbati maydonning har bir nuqtasi va har qanday sinov zaryadi uchun o'zgarmas kattalik bo'lib, maydonning asosiy kuch xarakteristikasi hisoblanadi va elektr maydon kuchlanganligi deb yuritiladi. Elektr maydon kuchlanganligi birlik musbat zaryadga ta'sir etuvchi kuchga son jihatdan teng kattalik bo'lib, u quyidagicha ifodalanadi:

$$E = \frac{F}{q_s} \quad (1.11)$$

Kulon qonuniga muvofiq: $F = q_s \left(\frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \right)$

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad (1.12)$$

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



1.4 – rasm

(1.13) ifodaga muvofiq, maydon kuchlanganligining birligi qilib, Xalqaro birliklar sistemasi (SI)da $1 \frac{N}{Kl}$ qabul qilingan, u shunday maydon kuchlanganligiki, miqdori 1-Kulon bo'lgan zaryadga 1 Nyuton kuch ta'sir qiladi:

$$1 \frac{N}{Kl} = 1 \frac{V}{m}$$

Agar elektr maydonini ikki yoki undan ortiq zaryadlar sistemasi vujudga keltirsa, u holda maydon kuchlanganligi, alohida zaryadlar maydoni kuchlanganligi vektorining geometrik yig'indisi tarzida aniqlanadi. Bu usul superpozitsiya prinsipi deb yuritiladi.

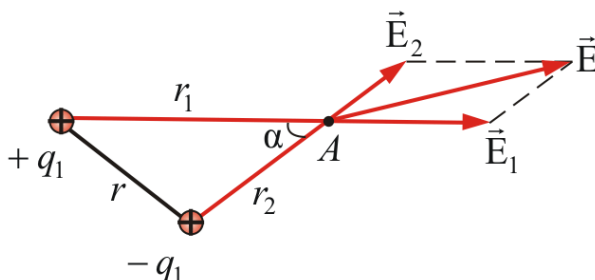
q_1 va q_2 zaryadlarning elektr maydoni ustma – ust tushgan bo'lsin (1.5-rasm). U holda maydonning istalgan nuqtasidagi kuchlanganlik vektori superpozitsiya prinsipiga ko'ra aniqlanadi:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 \quad (1.14)$$

Kuchlanganlik vektorining moduli:

$$E^2 = E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 \cos \alpha \quad (1.15)$$

bu yerda, $\alpha - \vec{E}_1$ va $\vec{E}_2$ vektorlar hosil qilgan burchak. Agar $\alpha = \pi/2$ bo'lsa, $E^2 = E_1^2 + E_2^2$



1.5 – rasm

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

$$F_1 = k \frac{q_2 q_s}{r_1^2}; \dots \quad F_2 = k \frac{q_1 q_s}{r_2^2} \quad (1.6)$$

$$\text{Bu kuchlarning bosh vektori: } \vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots + \vec{F}_n \quad (1.17)$$

(3)-ifodaga asosan maydon kuchlanganligi:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_s} = \frac{\vec{F}_1}{q_s} + \frac{\vec{F}_2}{q_s} + \dots + \frac{\vec{F}_n}{q_s} \quad (1.18)$$

yoki

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots + \vec{E}_n \quad (1.19)$$

(1.19) superpozitsiya prinsipining ifodasi bo'lib, istalgan zaryadlar sistemasining maydon kuchlanganligini hisoblash imkoniyatini yaratadi. Zaryadlar sistemasi ikkita qarama – qarshi, birday miqdordagi ($l \ll r$) zaryaddan iborat bo'lsa, u dipol (qo'sh qutb) deb yuritiladi.

Dipol maydoni kuchlanganligi:

a) Kuzatilayotgan nuqta dipol o'qida yotgan bo'lsa,

Dipol zaryadlaridan birining modulini ular orasidagi masofaga ko'paytmasidan iborat kattalik dipol momenti deb yuritiladi.

$$\vec{P} = |q| \cdot l \quad (1.20)$$

Dipol momenti vektor kattalik bo'lib, manfiy zaryaddan musbatga tomon yo'nalgan bo'ladi.

$$E_A = k \frac{q_+}{r_1^2} - k \frac{q_-}{r_2^2} = k \left(\frac{q_+}{r_1^2} - \frac{q_-}{r_2^2} \right)$$

$$(1.6\text{-rasm}) \quad r_1 = r - \frac{1}{2}; \quad r_2 = r + \frac{l}{2}; \quad k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

$$E_A = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{2ql}{r^3} \quad (1.21)$$

b) Kuzatilayotgan nuqta dipol o'qiga perpendikulyar chiziqda yotgan bo'lsa: $\vec{E}_+$ va $\vec{E}_-$ - vektorlar modullari o'zaro teng bo'ladi.

$$E_+ = E_- = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad (1.22)$$

rasmdan, $\frac{E_-}{E_+} = \frac{1}{\sqrt{r^2 + \left(\frac{1}{r}\right)^2}} \approx \frac{1}{r}$

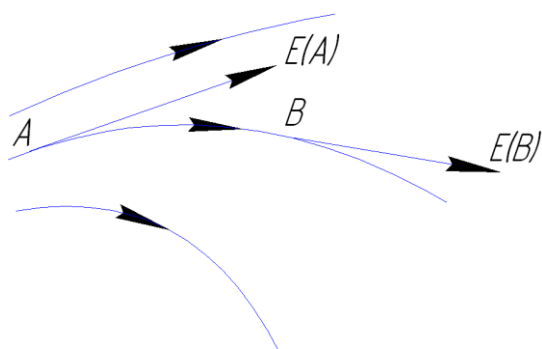
(1.22) ni e'tiborga olib,

$$E_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{ql}{r^3} = \frac{P}{4\pi\epsilon_0 r^3} \quad (1.23)$$

Dipol maydonining har qanday nuqtasidagi kuchlanganlik quyidagi formula yordamida hisoblash mumkinligini ko'rsatish mumkin.

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

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 jihatdan 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 nuqtada zaryadga kattaroq kuch bilan ta'sir etadi va aksincha (1.7-rasm).

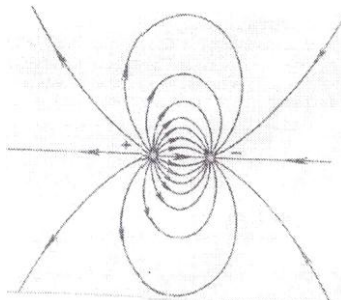
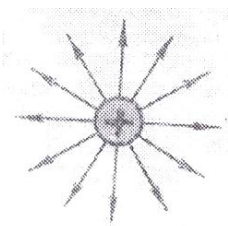


1.7 – rasm

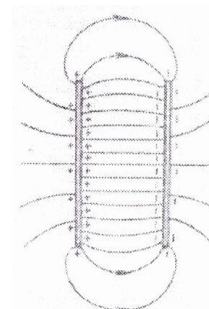
Elektr maydon kuchlanganlik chiziqlarining shakli zaryadlar ishorasi va

elektrodning shakliga bog'liq bo'ladi. (1.8-rasm)

Kuchlanganlik chiziqlari o'zaro parallel bo'lib, zichligi barcha nuqtalarda bir xil bo'lgan maydon bir jinsli elektr maydoni deb yuritiladi.

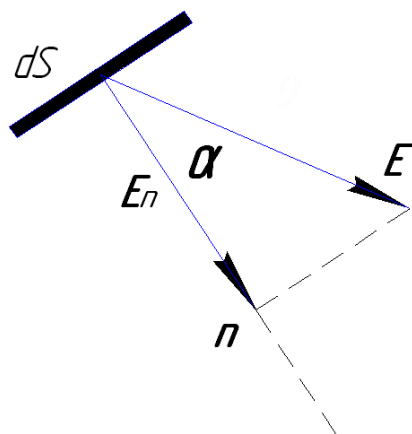


1.8 – rasm



Elektr maydon kuchlanganlik vektorining oqimi. Gauss teoremasi va uning tadbirlari

Elektr maydonini xarakterlashda nafaqat kuchlanganlik chiziqlari tushunchasidan, balki elektr maydon kuchlanganlik vektori oqimi tushunchasidan ham foydalaniladi. Bir jinsli elektr maydoniga joylashtirilgan ds -elementar yuzani kuzatamiz.



1.9 – rasm

Kuchlanganlik vektorining oqimi deb, elementar yuza orqali o'tayotgan kuchlanganlik chiziqlari soniga teng kattalikka aytiladi va kuchlanganlik vektorini unga perpendikulyar bo'lgan yuzaga ko'paytmasi bilan aniqlanadi:

$$d\Phi_E = \vec{E} ds \cos \alpha \quad (1.25)$$

9-rasmdan

$$\vec{E}_n = \vec{E} \cos \alpha$$

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

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 oqimning algebraik yig'indisiga teng bo'ladi:

$$\Phi_E = \oint_S E_n dS \quad (1.27)$$

Ixtiyoriy berk sirt orqali nuqtaviy zaryad maydonining kuchlanganlik vektori oqimini hisoblaymiz.

Sirt ichida markazi nuqtaviy zaryadda bo'lgan r -radiusli sfera sirt chizamiz (1.10-rasm).

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

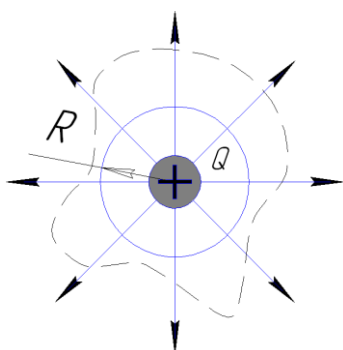
$$\Phi_E = \oint_S E dS = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \cdot \oint_S dS_{sf} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \cdot 4\pi r^2 = \frac{q}{\epsilon_n} \quad (1.28)$$

Sferik sirtidan qancha kuchlanganlik chiziqlari o'tsa, egri sirtidan ham shuncha chiziqlar chiqadi. Demak, bundan nuqtaviy zaryad maydon kuchlanganligining

ixtiyoriy sirt bo'yicha oqimi $\frac{q}{\epsilon_n}$ dan ortiq bo'lmaydi

degan xulosa chiqadi. Bu xulosa istalgan zaryadlar sistemasi uchun o'rinli bo'lib, Ostrogradskiy – Gauss tomonidan aniqlangan:

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



1.10-rasm

$$\oint_S E_n dS = \frac{1}{\varepsilon_0} \sum q_i \quad (1.29)$$

Elektr maydon kuchlanganlik chiziqlari sirtni toq son marta kesib o'tib, oqimni hisoblashda faqat bir marta qatnashadi (1.11-rasm).

Superpozitsiya prinsipiga ko'ra zaryadlar sistemasi maydonining kuchlanganligi alohida zaryadlar hosil qilgan maydon kuchlanganligining geometrik yig'indisiga teng.

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots + \vec{E}_n \quad (1.30)$$

Shu tufayli to'la oqim:

$$\oint_S E_n dS = \oint (\sum E_i) dS$$

(1.28) ga ko'ra algebraik yig'indi ostidagi har bir integralning qiymati $\frac{q}{\varepsilon_0}$ ga teng.

Demak:

$$\oint_S E_n dS = \frac{q_1}{\varepsilon_0} + \frac{q_2}{\varepsilon_0} + \frac{q_3}{\varepsilon_0} + \dots + \frac{q_i}{\varepsilon_0} = \frac{q}{\varepsilon_0} \sum q_i$$

(1.31)

Bu esa Ostrogradskiy – Gauss teoremasining matematik ifodasidir. Agar zaryad biror hajmda tekis taqsimlangan bo'lsa, elektr maydoni kuchlanganligining oqimi quyidagicha aniqlanadi:

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

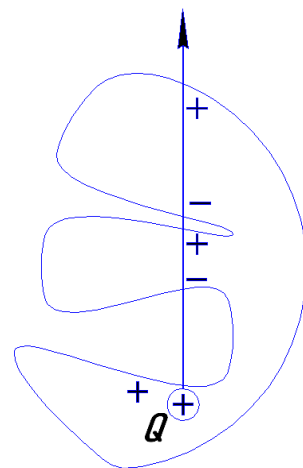
Agar $q = 0$ yoki $\sum q_i = 0$ bo'lsa, har qanaday berk sirt orqali elektr maydon kuchlanganlik vektorining oqimi ham nolga teng bo'ladi.

$$\oint E_n dS = 0$$

Bundan quyidagi xulosalar chiqarish mumkin.

a) Berk sirt ichidagi zaryad 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:

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



1.11-rasm

Ostrogradskiy – Gauss teoremasining tadbiqlari

1) Bir jinsli tekis zaryadlangan cheksiz tekislik maydoni kuchlanganligi:

Yuza birligiga to'g'ri keladigan zaryad miqdoriga son jihatdan teng kattalik, zaryadning sirt zichligi deb yuritiladi.

$$\sigma = \frac{\sum q_i}{S} \left[\frac{Kl}{m^2} \right]$$

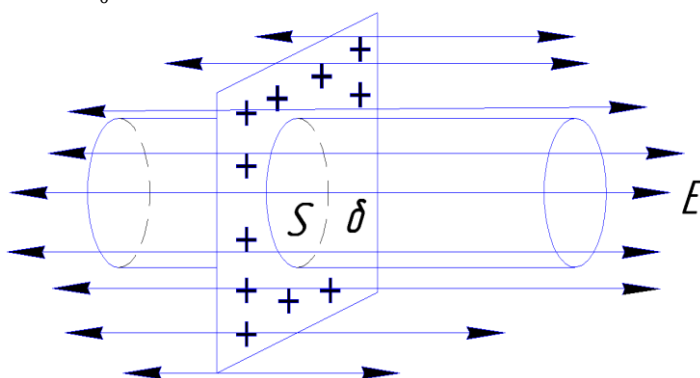
Elektr maydon kuchlanganlik chiziqlari tekislik sirtiga perpendikulyar bo'lib, musbat zaryadlangan tekislik uchun (1.12-rasm)da ko'rsatilgan.

Yasovchi kuchlanganlik vektoriga parallel, tekislikka nisbatan simmetrik silindrik sirt ajratamiz. Ta'rifga ko'ra:

$$\oint_S E_n dS = \left(\oint EdS \cos \alpha \right)_{yon} + 2 \left(\oint EdS \cos \alpha \right)_{asos}$$

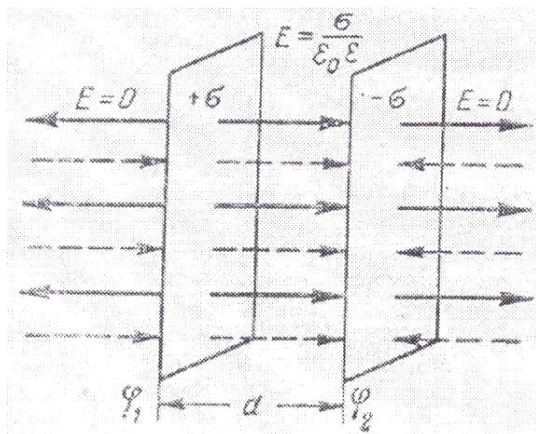
Silindr yasovchi E-elektr maydon kuchlanganlik chiziqlariga parallel bo'lib, uning yon sirtiga o'tkazilgan normal ($\vec{n}$) bilan $\frac{\pi}{2}$ burchakni tashkil etishi tufayli (9)-ning birinchi hadi nolga teng bo'ladi. Maydon kuchlanganligi oqimi $\oint Eds = 2ES_{as}$ Gauss teoremasiga muvofiq,

$$2ES_{as} = \frac{1}{\epsilon_0} \sum q_1 \quad \text{yoki} \quad E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$



1.12-rasm

2) Har xil ishorali tekis zaryadlangan qo'sh tekislik maydonining kuchlanganligi.



1.13-rasm

Tekisliklar oralig'idagi sohada kuchlanganlik chiziqlari bir tomonga yo'nalgan bo'ladi. Superpozitsiya prinsipiga muvofiq (1.13-rasm)

$$\vec{E} = \vec{E}_+ + \vec{E}_- \\ E_+ = E_- = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \quad (1.33)$$

Shunday qilib, qarama – qarshi ishorali, bir xil zaryad zichligi bilan zaryadlangan qo'sh tekislik maydonining kuchlanganligi ular orasidagi sohada mujassamlashgan bo'ladi. Kuchlanganlik chiziqlari bu sohaning har bir nuqtada zichligi birday va bir tomonga yo'nalgan parallel chiziqlardan iborat bir jinsli elektr maydonini hosil qiladi.

Tekisliklardan tashqaridagi sohada kuchlanganlik chiziqlari qarama – qarshi yo'nalgan bo'lib, bir – birini kompensatsiyalaydi, shu tufayli maydon kuchlanganligi nolga teng bo'ladi.

$$E = E_+ + E_- = 0$$

3) Hajm bo'yicha tekis zaryadlangan shar maydonining kuchlanganligi.

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

bu yerda, ρ - zaryadning hajmiy zichligi.

Hosil bo'lgan maydon markaziy simmetrik bo'ladi. Shar ichida ($r < R$) zaryad $q = \rho V = \rho \frac{4}{3} \pi r^3$ ga teng bo'ladi. Kuchlanganlik oqimi ta'rifiga ko'ra:

$$\oint E_n dS = E(r) 4\pi r^2 \quad (1.34)$$

kabi ifodalanadi.

Gauss teoremasiga muvofiq

$$\oint E_n dS = \frac{1}{\epsilon_0} \rho \frac{4}{3} \pi r^3 \quad (1.35)$$

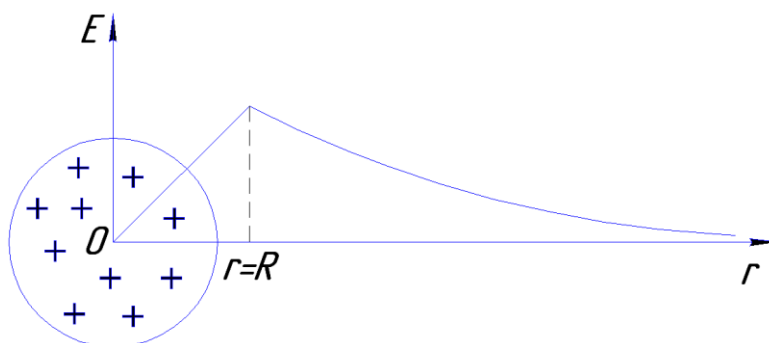
(1.34) va (1.35) dan foydalanib,

$$E(r) = \frac{1}{\epsilon_0} \rho \frac{1}{3} r \quad (1.36)$$

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

$$\rho = \frac{q}{\frac{4}{3} \pi R^3}$$

buni hisobga olib (1.37)dan $E(r) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R^3} \cdot r$ (1.38) ni hosil qilamiz



1.14-rasm

Shar ichida maydon kuchlanganligi radiusga proporsional ortadi. Shar tashqarisida esa maydon kuchlanganligi radiusning kvadratiga teskari proporsional ravishda kamayadi. (1.14-rasm)

Nazorat savollari:

1. Zaryad nimani xarakterlaydi?
2. Zaryadning xossalari aytib bering?
3. Kulon qonuni nimadan iborat? U qanday shartlar asosida o'rinli?

4. Elektrostatik maydon kuchlanganligi nimani xarakterlaydi. Unga ta'rif bering?
5. Elektrostatik maydon kuchlanganligining yo'nalishi qanday aniqlanadi?
6. Kuchlanganlik birliklarini keltirib chiqaring?
7. Kuchlanganlik chiziqlari qanday tuziladi va u nimani xarakterlaydi?
8. Kuchlanganlik vektor oqimi nima? Uning birligi qanday?
9. Maydon superpozitsiyasi printsiipi nimadan iborat?

2- ma'ruza. ELEKTROSTATIK MAYDONNING POTENSIALI

Reja

1. Elektrostatik maydon kuchlarining bajarilgan ishi.
2. Elektrostatik maydon kuchlanganlik vektorining sirkulyasiyasi.
3. Elektrostatik maydon potentsiali. Nuqtaviy zaryad va zaryad tizimi maydonlarining potentsiali.
4. Elektrostatik maydon kuchlanganligi bilan potentsiali orasidagi bog'lanish.
5. Maydonlar superpozitsiyasi prinsipi. Elektr dipoli va dipol maydoni.

Elektrostatik maydonda zaryadni ko'chirishda bajarilgan ish

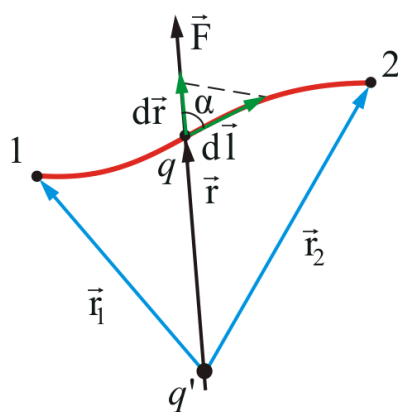
Elektr maydonga joylashtirilgan har qanday zaryadga maydon kuchlari ta'sir etadi.

$$\vec{E} = q_0 \vec{E} \quad (2.1)$$

Tajribalar ko'rsatishicha, bu kuchlar markaziy kuchlar bo'lib, ularning maydoni potensial xarakterga ega, ya'ni markaziy kuchlar maydonida bajarilgan ish zaryadning qanday traektoriya bo'ylab, qanday tezlik va qanday yo'nalishga ko'chirilishiga 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 (2.1-rasm). Zaryadni elementar dl masofaga ko'chirishda bajarilgan ish ta'rifga ko'ra,

$$dA = F dl \cos \alpha \quad (2.2)$$



2.1-rasm

Nuqtaviy zaryad maydonning kuchlanganligi ifodasidan foydalanib:

$$F = q_0 E = q_0 \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad (2.3)$$

rasmdan,

$$dr = dl \cos \alpha \quad (2.4)$$

(2.2), (2.3) va (2.4) ga asosan

$$dA = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_0 r^2} dr \quad (2.5)$$

yozamiz.

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

$$A_{12} = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_0} \int_1^2 \frac{dr}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \left(\frac{qq_0}{r_1} - \frac{qq_0}{r_2} \right) \quad (2.6)$$

(2.6) 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 ravishda $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3 \dots \vec{F}_n$ - kuch bilan ta'sir etadi.

Sinov zaryadini ko'chirishda bu kuchlarning bajargan ishi (2.2) va (2.4) ga asoslanib.

$$\begin{aligned} dA_1 &= F_1 dr & dA_2 &= F_2 dr; & dA_n &= F_n \cdot dr & \text{yoki} \\ dA_1 &= q_0 E_1 dr, & dA_2 &= q_0 E_2 dr; & dA_n &= q_0 E_n dr & \text{tarzida yoziladi.} \end{aligned}$$

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

$$A = \oint^2 q_0 (E_1 + E_2 + E_3 + \dots E_n) dr; \quad A = \oint^2 q_0 E_n dr \quad (2.7)$$

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

$$A = \oint q_0 E dr = 0 \quad \text{yoki} \quad A = \oint q_0 E dl \cos \alpha = 0 \quad (2.8)$$

(2.8) ifodadagi $\oint E dl \cos \alpha$ yoki $\oint E dl$ dan iborat kattalik maydon

kuchlanganligi vektorining serkulyatsiyasi deb yuritiladi.

(2.8) ga muvofiq $q_0 \neq 0, e \neq 0$, demak, elektr maydon kuchlanganligi vektorining berk kontur bo'yicha serkulyatsiyasi nolga teng degan xulosa kelib chiqadi.

$$\oint E_1 dl = 0 \quad (2.9)$$

(2.9) maydon 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.

Elektr maydonning potentsiali

Potensial maydonda joylashtirilgan har qanday zaryadlangan jism energiyaga ega bo'ladi. Shu energiya hisobiga zaryadni ko'chirishda maydon kuchlari ish bajaradi.

Faraz qilaylik, potensial elektr maydonining har bir nuqtasi, biror (W) funksiyasi bilan bir qiymatli aniqlansin.

$$W = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_0 r} + C \quad (2.10)$$

C-boshlang'ich shartga ko'ra aniqlanadigan o'zgarmas son.

r – cheksizlikka intilsa, C-nolga teng deb shartlashib olamiz.

$$(r \rightarrow \infty, C = 0)$$

$$W = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (2.11)$$

(2.11) ga sinov zaryadining elektr maydonidagi potensial energiyasi deb yuritiladi. Turli sinov zaryadi maydonning tayinli bir nuqtada har xil qiymatli $W^I, W^{II}, W^{III} \dots W^n$ energiyaga ega bo'ladi.

$$\frac{W^I}{q_0} = \frac{W^{II}}{q_0} = \dots = \frac{W^n}{q_0} = const \quad (2.12)$$

Lekin maydonning barcha nuqtalari uchun (2.12) o'zgarmas kattalik bo'lib, elektr maydon potentsiali deyiladi.

$$\varphi = \frac{W}{q_0} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (2.13)$$

Birlik musbat zaryadning potentsial energiyasiga son jihatidan teng kattalik elektr maydon potentsiali deb ataladi.

(2.13) ni hisobga olib potentsial energiya uchun:

$$W = q_0 \varphi \quad (2.14)$$

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

$$A_{12} = W_2 - W_1 = q(\varphi_1 - \varphi_2) \quad (2.15)$$

Shunday qilib elektr maydonida zaryadni ko'chirishda bajarilgan ish, ko'chirilgan zaryad miqdori potentsiallar 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 uchun:

$$A_\infty = q \cdot \varphi \quad (2.16)$$

(2.16) dan

$$\varphi = \frac{A_\infty}{q} \quad (2.17)$$

Birlik musbat zaryadni elektr maydonining muayyan nuqtasida cheksizlikka ko'chirishda bajarilgan ishga son jihatidan teng kattalik elektr maydonning potentsiali deb yuritiladi.

Potentsialning o'lchov birligi qilib, xalqaro birliklar sistemasi (SI)da 1 Volt qabul qilingan.

$$1V = 1 \frac{J}{Kl} = \frac{10^7 \text{ erg}}{3 \cdot 10^9 \text{ CTC}_q} = \frac{1}{300} \text{ CTC}$$

Amalda Voltning karrali birliklari:

$$1kV = 10^3 V$$

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

Ekvopotentsial sirtlar

E elektr maydon kuch xarakteristikasi bo'lsa φ uning energetik xarakteristikasidir. Yagona ob'yektiv reallikning bu ikki xarakteristikasi orasidagi bog'lanishni aniqlash uchun ekvopotentsial sirt tushunchasidan foydalaniladi. *Birday potentsialli nuqtalarni geometrik o'rnidan iborat sirt – ekvopotentsial sirtlar deyiladi.*

Ekvopotentsial sirtlar fazoda shunday o'tkaziladiki, ikki qo'shni sirtlar potentsialining har bir nuqtadagi ayirmasi ($\Delta\varphi = \text{const}$) bir xil bo'ladi.

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

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

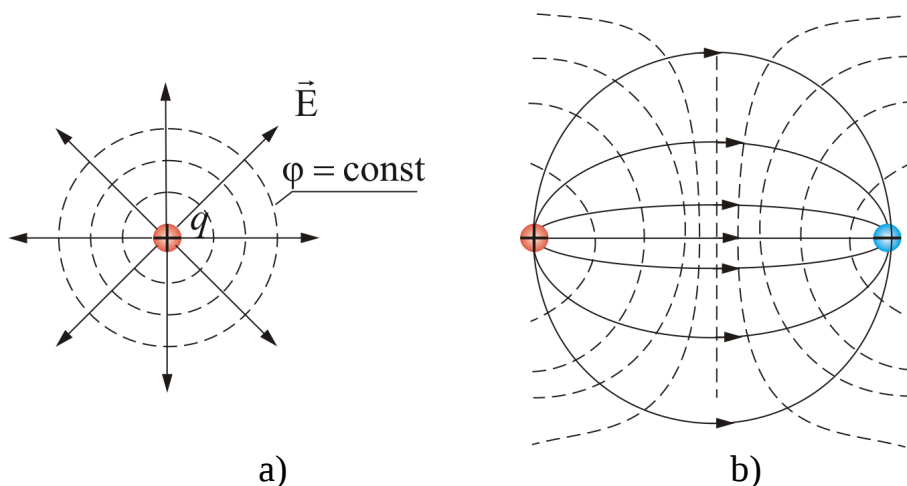
$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (2.18)$$

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

$$\left. \begin{aligned} A_{12} &= q(\varphi_1 - \varphi_2) = 0 \\ A_{12} &= qEdl \cos \alpha = 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.19)$$

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

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



2.2-rasm. a) Nuqtaviy zaryad maydonining ekvopotensial sirlari; b) Dipol maydonining ekvopotensial sirlari.

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

$$\left. \begin{aligned} A_{12} &= qE \cdot dl \cos \alpha = qEdr \\ A_{12} &= q(\varphi_1 - \varphi_2) = q[\varphi - (\varphi + d\varphi)] = -qd\varphi \end{aligned} \right\} \quad (2.20)$$

(2.20) dan quyidagini hosil qilamiz:

$$E = -\frac{d\varphi}{dr} \quad (2.21)$$

(2.21) ifoda potentsialning r -vektor bo'yicha o'zgarish tezligini bildiradi va potentsial gradiyenti deb yuritiladi.

Elektr maydonining ixtiyoriy nuqtasidagi maydon kuchlanganligi vektorini koordinatalar o'qi bo'yicha tashkil etuvchilarga ajratsak, (2.21) quyidagi ko'rinishni oladi.

$$\bar{E}_x = -\frac{\partial \varphi^-}{\partial x} i, \quad E_y = -\frac{\partial \varphi^-}{\partial y} j, \quad E_z = -\frac{\partial \varphi^-}{\partial z} k$$

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

$$\bar{E} = -\left(\frac{\partial \varphi^-}{\partial x} i + \frac{\partial \varphi^-}{\partial z} k \right) = -\text{grad} \varphi \quad (2.22)$$

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

Nazorat savollari:

1. Zaryadni elektrostatik maydonda ko'chirganda bajargan ishning yo'lining formasiga bog'liq bo'lmasligini isbotlang.
2. Elektrostatik kuchlarni nima uchun konservativ kuch deb ataydi?
3. Elektrostatik maydonning potentsialli maydon ekanligini ko'rsating.
4. Elektrostatik maydon kuchlanganligining yopiq kontur bo'yicha sirkulyasiyasi nimaga teng?
5. Potensial energiya bilan potensial o'rtasida qanday farq bor?
6. Elektrostatik maydonning potentsiali bilan kuchlanganlik o'rtasida qanday bog'lanish bor?
7. Teng potentsialli yoki ekvipotensial sirtlar deb nimaga aytiladi?

3- ma'ruza. ELEKTROSTATIK MAYDONDAGI O'TKAZGICHLAR

Reja

1. Zaryadning zichligi. Tashqi elektr maydonidagi o'tkazgich.
2. Elektr sig'imi. Kondensatorlar sig'imi.
3. Elektr zaryadlarining o'zaro ta'sir energiyasi.
4. Zaryadlangan o'tkazgichlar tizimining energiyasi.
5. Zaryadlangan kondensator energiyasi.
6. Elektrostatik maydon energiyasi zichligi

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.

O'tkazgichlarni zaryadlasak, berilgan zaryad uning tarkibidagi mikrozaryad bilan o'zaro ta'sirlashib, shunday qayta taqsimlanadiki, metall ichida olingan har qanday nuqtada maydon kuchlanganligi nolga teng bo'ladi.

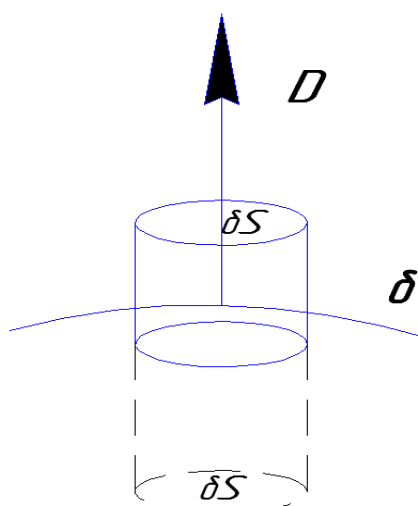
$$E_{\text{ich}}=0 \quad (3.1)$$

Elektr maydon potentsialining gradiyentiga ko'ra:

$$E = -\frac{d\varphi}{dr}; \quad \varphi = \text{const} \quad (3.2)$$

Demak, o'tkazgich ichida va sirtidagi barcha nuqtalarning potentsiali bir xil bo'ladi, ya'ni o'tkazgich sirti ekvopotensial sirtidan iboratdir.

(3.1) va (3.2) ifodalar zaryadlarni metallar sirtida tekis taqsimlanish shart deb ataladi. Zaryadlarning tekis taqsimlanish shartiga ko'ra, maydon kuchlanganlik chiziqlari jism sirtida uning har bir nuqtasiga perpendikulyar bo'lishi kelib chiqadi (3.1-rasm).



3.1-rasm

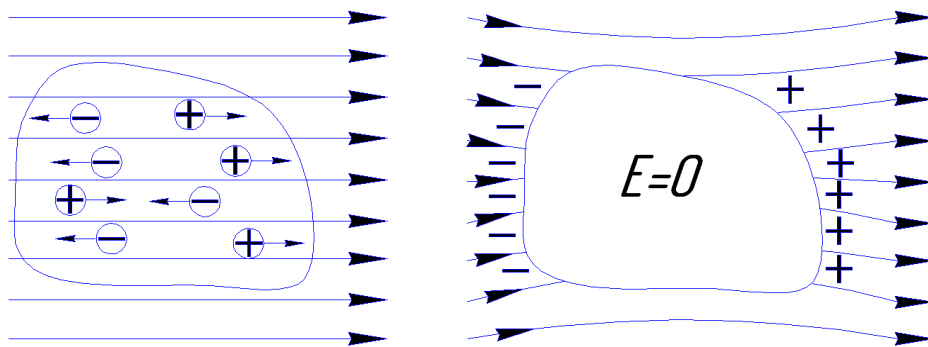
Elektr maydoniga joylashtirilgan o'tkazgichlarda, nafaqat unga uzatilgan zaryadlar, balki uning tarkibidagi mikrozaryadlar ham, musbat zaryadlari maydon yo'nalishida, manfiylari esa qarama – qarshi yo'nalishda ko'chib, induksiyalangan sirt zaryadlarini vujudga keltiradi.

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

$$E^1 = \frac{\sigma^1}{\varepsilon_0} \quad (3.3)$$

Tashqi maydon kuchlanganligining chiziqlari induksiyalangan manfiy zaryadlarga uzatiladi va yana musbat zaryadlardan boshlanadi. Metall ichida maydon kuchlanganligi ($E=0$) bo'ladi (3.2-rasm). Metall tashqarisida esa:

$$\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}^1 \quad (3.4)$$



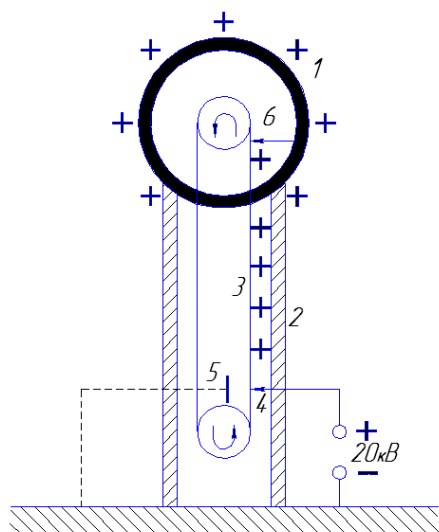
3.2-rasm

Metallarda zaryadning taqsimlanishida uning kovak yoki yaxlit bo'lishi muhim ahamiyatga ega emas. Zaryad faqat metalning 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-Graf (1920 yil) yasagan elektrostatik generatorning tuzilishi bilan tanishamiz. Generatorning asosiy qismi konduktor deb ataladigan kovak metall shar 1 dan iborat bo'lib, izolyator ustun 2 ga o'rnatilgan.

Zaryad mashinasida hosil qilingan zaryad 4-uchlik orqali rezina aralash ipak gazlamali lenta 3-ga uzatiladi. Zaryad lentadan 6-taroq orqali konduktorga o'tadi (3.3-rasm).



3.3-rasm

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

Yakkalangan o'tkazgich elektr sig'imi

Yakkalangan o'tkazgichga q-zaryad miqdori berib zaryadlasak, uning atrofida kuchlanganligi E, potentsiali φ -bo'lgan elektr maydoni vujudga keladi. Zaryadlangan har qanday jismni nuqtaviy zaryadlar sistemasi deb qarash mumkin (3.4-rasm). Nuqtaviy zaryadlar sistemasi maydonining kuchlanganligi esa superpozitsiya prinsipiga ko'ra:

$$E = \sum E_1 = \int \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \cdot \frac{dq}{r^2} \quad (3.5)$$

ϵ -o'tkazgich joylashgan muhitning dielektrik singdiruvchanligi

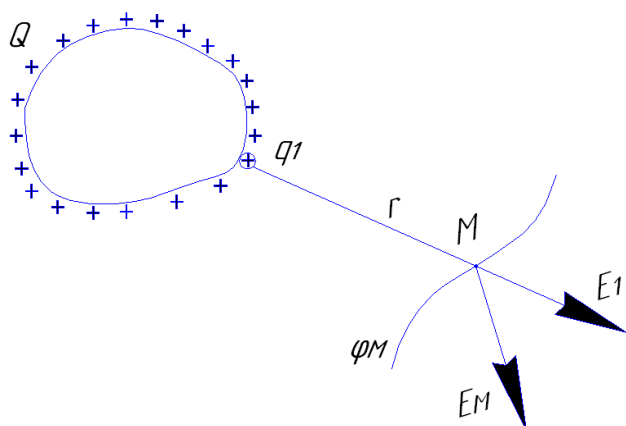
Ma'lumki, elektr maydon kuchlanganligi, teskari ishora bilan olingan potensial gradiyentiga teng:

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

$$\varphi = -\int_{\varphi}^0 d\varphi = -\int_{\varphi}^0 E dr = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r} \quad (3.6)$$

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

$$\varphi \sim q \quad (3.7)$$



3.4-rasm

(3.7) ga proporsionallik koeffitsiyentini kiritib:

$$\varphi = \frac{1}{C} \cdot q \quad (3.7^1)$$

C-proporsionallik koeffitsiyenti bo'lib, yakkaqlangan o'tkazgichning elektr sig'imi deb yuritiladi.

$$C = \frac{q}{\varphi} \quad (3.8)$$

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. (3.1¹ va (3.8) dan:

$$C = \frac{q}{\varphi} = \frac{q}{q / 4\pi\epsilon_0 r} = 4\pi\epsilon_0 r \quad (3.9)$$

$$C = 4 \cdot 3,141 \cdot 8,86 \cdot 10^{-12} \cdot 6400000 \text{ m} \approx 7 \cdot 10^{-5} \Phi \approx 700 \text{ mk}\Phi$$

(3.9) dan

$$r = \frac{1\Phi}{4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \Phi / M} = \frac{1\Phi}{111,16 \cdot 10^{-2} \Phi / M} = 0,0090 \cdot 10^{12} \text{ m} = 9 \cdot 10^9 \text{ m} = 9 \cdot 10^6 \text{ km}$$

1 farada sig'imga ega bo'lish uchun, jismning radiusi esa 6400 km.

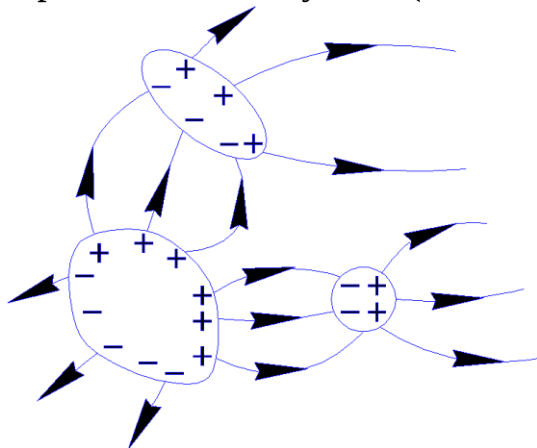
Bundan ko'rinib turibdiki, bir farada juda katta o'lchov birligi bo'lib shu tufayli amalda faradaning ulushli birliklari $10^{-6}\Phi = 1\text{mk}\Phi$ $10^{-9}\Phi = 1\text{n}\Phi$

$10^{-12}\Phi = 1\text{pk}\Phi$ – qo'llaniladi.

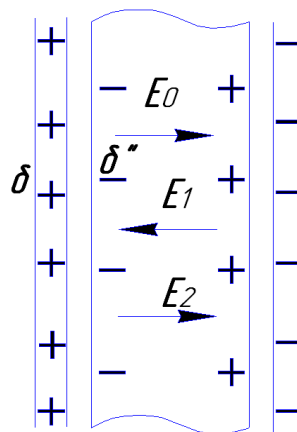
Kondensatorlar

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

Agar o'tkazgich yaqiniga boshqa o'tkazgichlar ham joylashtirilgan bo'lsa, u holda elektr maydon kuchlanganlik chiziqlari induksiyalangan zaryadlarda uzilib, maydon potensialini kamaytiradi (3.5-rasm)



3.5-rasm



3.6-rasm

Natijada jismlar sistemasining elektr sig'imi ortadi. O'tkazgichlarning bunday sistemasi kondensator deb yuritiladi.

Sodda kondensatorlar dielektrik qatlam bilan ajratilgan parallel metall plastinkalari sistemasidan iborat bo'ladi (3.6-rasm).

Elektr maydoni kondensator qoplamlari oralig'ida bo'lgani uchun kuchlanganlik chiziqlari ularning biridan boshlanib, ikkinchisida tugaydi.

Kondensator elektr sig'imi uning qoplamlaridagi zaryad miqdorining, qoplamlar orasidagi kuchlanishga nisbati bilan aniqlanadi.

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} = \frac{q}{U} \quad (3.10)$$

Ikki nuqta potensialining ayirmasi esa kuchlanish deb yuritiladi.

$$\varphi_1 - \varphi_2 = U = Ed$$

Ostrogradskiy-Gauss teoremasiga muvofiq,

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{q}{\epsilon_0 S}; \quad C = \frac{\epsilon_0 S}{d} \quad (3.11)$$

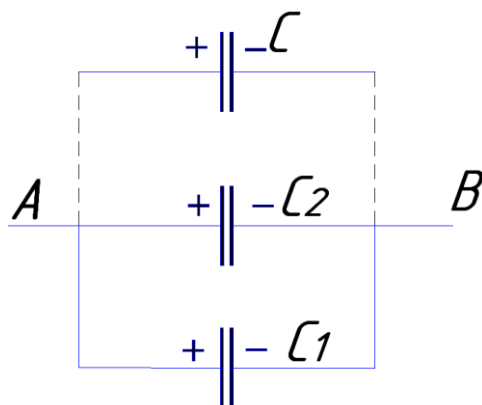
bu yerda, S-kondensator qoplamasining yuzi, d-qoplamalar orasidagi masofa.

(3.11) dan ko'rinadiki, yassi kondensator elektr sig'imini oshirish uchun qoplamalar sirti yuzini oshirish, ular orasidagi masofani mumkin qadar kamaytirish lozim. Bunday imkoniyatlar cheklangan, chunki yuza ortsa, qurilmaning o'lchami katta bo'ladi. Qoplamalari orasidagi masofa kamaytirilsa, dielektrikning izolyatorlik sifati yo'qolib "teshilish" sodir bo'ladi, shu tufayli masofani biror minimal qiymatdan ortiq kamaytirib bo'lmaydi.

$U_T = d_{\min} \cdot E$ -bilan aniqlangan kuchlanish "teshilish" kuchlanishi deyiladi.

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

1) Kondensatorlarni parallel ulash (3.7-rasm).



3.7-rasm

Barcha kondensatorlar uchun kuchlanish bir xil bo'ladi.

$$q_1 = C_1 U;$$

$$q_2 = C_2 U$$

tarifga ko'ra,

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

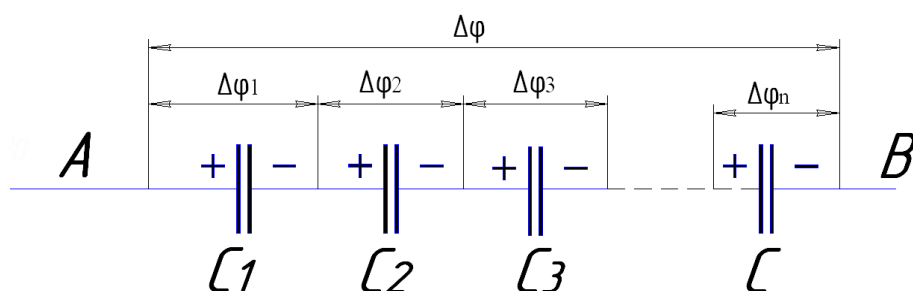
$$C_0 = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n;$$

$$C_0 = \sum C_i$$

Agar $C_1 = C_2 = \dots = C$ bo'lsa

$$C_0 = n \cdot C_1 \text{ bo'ladi.}$$

Kondensatorlarni ketma – ket ulash (3.8-rasm)



3.8-rasm

Bunday ulashda umumiy kuchlanish har bir kondensator qoplamalaridagi kuchlanishlarning yig'indisiga teng bo'ladi.

$$q = q_1 = q_2 = \dots = q_n;$$

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

Bataryaning elektr sig'imini esa:

$$\frac{1}{C_b} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n} = \sum \frac{1}{C_i}$$

Agar batareya ikkita kondensatordan iborat bo'lsa:

$$C =$$

Elektr maydon energiyasi

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

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

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

$$W_1 = q_1 \varphi_{12}; \quad W_2 = q_2 \varphi_{21} \quad (3.12)$$

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, u quyidagicha ifodalanadi.

$$\varphi_{1,2} = \frac{q_2}{4\pi\epsilon_0 r_{12}}, \varphi_{2,1} = \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0 r_{21}} \quad (3.13)$$

(3.12) va (3.13) dan (3.14) ni hosil qilamiz.

$$W_1 = W_2 = W \quad \text{yoki} \quad W = q_1 \varphi_{12} = q_2 \varphi_{21} \quad (3.14)$$

Sistemasining energiyasi ifodasiga har ikkala zaryad ham simmetrik ravishda kirishi uchun (3.14) ni quyidagi ko'rinishda yozamiz:

$$W = \frac{1}{2} (q_1 \varphi_{12} + q_2 \varphi_{21}) \quad (3.15)$$

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

$$W = \frac{1}{2} \sum q_i \varphi_i \quad (3.16)$$

(3.16) zaryadlar sistemasi maydonining energiyasini ifodalaydi.

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

$$dA = \varphi \cdot dq = \frac{1}{C} \cdot q \cdot dq \quad (3.17)$$

Bu ish o'tkazgichning potensial energiyasini oshirishga sarflanadi.

$$dA = dW = \frac{1}{C} q dq \quad (3.18)$$

(3.18) ni integrallab, yakka langan o'tkazgichning potensial energiyasini hosil qilamiz.

$$W = \frac{q^2}{2C} + const \quad (3.19)$$

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

Elektr sig'imi va potentsiali orasidagi munosabatni hisobga olib (8) ni quyidagicha ifodalash mumkin.

$$W = \frac{q^2}{2C}; \quad W = \frac{q \cdot \varphi}{2}; \quad W = \frac{C \varphi^2}{2} \quad (3.20)$$

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

$$W_k = \frac{q^2}{2C}; \quad W = \frac{q \cdot U}{2}; \quad W = \frac{CU^2}{2} \quad (3.21)$$

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

Agar (3.21) ga yassi kondensator elektr sig'imi ifodasini qo'ysak,

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

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

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

$$W = \frac{\varepsilon_0}{2} E^2 V \quad (3.22)$$

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

$$\varpi = \frac{W}{V} = \frac{\varepsilon_0}{2} E^2 \quad \left[\frac{J}{m^3} \right] \quad (3.23)$$

Nazorat savollari

1. O'tkazgichga berilgan zaryadning qaday taqsimlanadi?
2. Nima sababdan $\varphi = \text{const}$ bo'lsa $E = 0$ bo'ladi?
3. O'tkazgichning elektr sig'imi nimalarga bog'liq?
4. Nima sababdan o'tkazgichning sig'imi uning zaryadi va potentsialiga bog'liq bo'lmaydi?
5. Kondensator nima? Uning turlarini va mos xoldagi sig'imlarini ayting?
6. Kondensatorlarni parallel ulaganda sig'im qanday o'zgaradi? Bunda qaysi fizik
7. kattalik o'zgarmay qoladi?
8. Kondensatorlarni ketma-ket ulaganda natijaviy sig'im qanday bo'ladi.
9. Elektrostatik maydon energiyasini va uning xajmiy zichligini ifodalovchi formulalarini yozib, asoslab bering?

4- ma'ruza. ELEKTROSTATIK MAYDONDAGI DIELEKTRIKLAR

Reja

1. Dielektriklarning turlari. Qutblanish zaryadlari. Bir jinsli bo'lmagan qutblanish.
2. Dielektriklarning qutblanishi.
3. Elektr siljish vektori. Dielektrik singdiruvchanlik. Dielektriklar uchun elektrostatikaning asosiy tenglamasi. Gauss teoremasi.
4. Segnetoelektriklar va ularning texnikada qo'llanilishi. «Dielektrik-dielektrik» va «o'tkazgich-dielektrik» chegarasidagi chegaraviy shartlar.
5. Dielektrikdagi elektrostatik maydon energiyasining zichligi.

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} - 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 molekulalardan tashkil topgan moddalar qutbsiz dielektriklar deb yuritiladi. Qutbsiz dielektriklarga olmos, benzol, azot, vodorod, oltingugurt va shunga o'xshash moddalar misol bo'ladi.

Tashqi elektr maydoni bo'lmaganda ham, musbat va manfiy zaryadlarining markazi siljigan, ionli bog'lanishga ega bo'lgan nosimmetrik molekulalardan tashkil topgan moddalar qutbli dielektriklar hisolanadi. Qutbli dielektriklarga (NaCl), (KCl), (KRR), tuzlar, kvars (SiO_2), korund (Al_2O_3), rutil (TiO_3), kabilar misol bo'ladi.

Tashqi elektr maydoniga kiritilgan qutbsiz dielektrik modda atom molekulalari 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 molekulalar dipol momenti jism hajmida tartibsiz yo'nalgan.

Elektr maydonida qutbli dielektrik modda molekulalariga maydon kuchlari oriyentatsion (yo'nalishga ega bo'lgan) kuchlar momenti bilan ta'sir etib, noldan farqli qutblanish hosil qiladi (4.1-rasm).

$$\bar{M} = \bar{F}h = qE \cdot l \sin \alpha \quad (4.1)$$

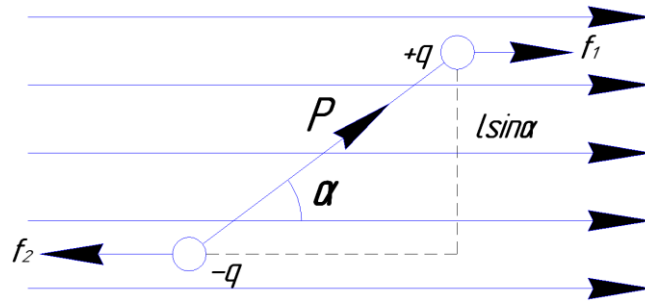
$\bar{P} = q \cdot l$ dipol momentini hisobga olib:

$$\bar{M} = [\bar{P}\bar{E}] \quad (4.2)$$

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

$$\bar{P} = \frac{\sum p_i}{V} = \frac{\bar{p}_v}{V} \quad (4.3)$$

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



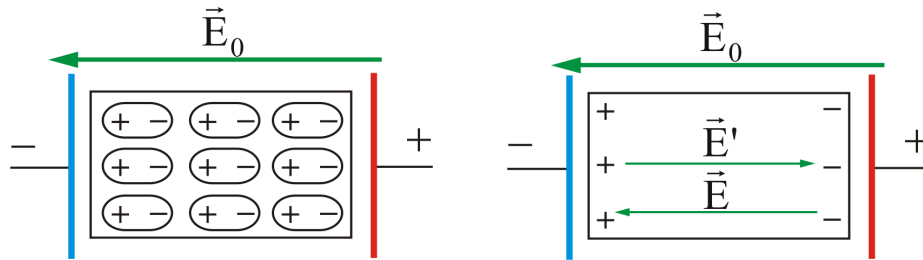
4.1-rasm

Tajribalar ko'rsatishicha,

$$\vec{P} = \chi \epsilon_0 \vec{E} \quad (4.4)$$

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

Qutblanish tufayli elektr maydon kuchlanganlik chiziqlari dielektrik chegarasida qisman uziladi. Maydon kuchlanganligi tashqi (erkin zaryad maydoni) va qutblanish tufayli vujudga kelgan bo'lgan zaryadlar (ichki maydon) kuchlanganligi vektorining yig'indisidan iborat bo'ladi (4.2-rasm)



4.2-rasm

$$\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}^1$$

Superpozitsiya prinsipiga asosan:

$$E = E_0 - E^1$$

Ostrogradskiy-Gauss teoremasiga muvofiq:

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

σ^1 -bog'langan zaryadlarning sirt zichligi ta'rifiga ko'ra, dielektrik qatlam hajmidagi dipol momenti $\vec{P}_v = \vec{P}V = \vec{P}S \cdot d\vec{P}_T = q_{bog}d = \sigma^1 S \cdot d$ demak, bog'langan zaryadlar sirt zichligi qutblanish vektoriga son jihatidan teng degan xulosa kelib chiqadi.

$$\sigma^1 = P$$

Buni hisobga olib, moddaning maydoni kuchlanganligini

$$E = E_0 - \frac{\sigma^1}{\epsilon_0} = E_0 - \frac{P}{\epsilon_0} = E_0 - \frac{\chi \epsilon_0 E}{\epsilon_0} \quad (4.5)$$

$$E_0 = E + \chi E = (1 + \chi)E \quad (4.6)$$

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

$$\epsilon = (1 + \chi) = \frac{E_0}{E} \quad (4.7)$$

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

ε -moddalarning ximiyaviy tabiati, qutblanish darajasi hamda temperaturasi bog'liq. Temperatura ortishi bilan dipol momentlari elektr maydonida tartibsiz joylashib, qutblanish darajasini, shuningdek dielektrik kirituvchanlikni ham kamaytiradi. Shunday qilib, elektr maydon kuchlanganligi, vakuumda dielektrik chegarasiga o'tganda yoki ikki dielektrik muhit chegarasida keskin o'zgaradi. Maydonni hisoblashda bu o'zgarish ancha noqulayliklarga olib keladi. Bu noqulaylikni bartaraf etish uchun elektr induksion (siljish) vektoridan foydalaniladi. (4.4) ga asoslanib (4.5)dan:

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P} = \varepsilon_0 E = (1 + \chi) \varepsilon_0 E \quad (4.8)$$

(4.8) va (4.7) ni, hisobga olib:

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} \quad (4.8^1)$$

$\vec{D}$ - elektr induksiya vektori deb yuritiladi va Kl/m^2 bilan o'lchanadi. Gauss teoremasiga muvofiq, vakuumda induksiya vektori oqimi uchun:

$$\oint D_n dS = \oint \varepsilon_0 E_0 dS = \varepsilon_0 \oint E_0 dS = \varepsilon_0 \sum \frac{q_{el}}{\varepsilon_0}$$

yoki

$$\Phi_D = \oint D_n dS = \sum q_i \quad (4.9)$$

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

Agar zaryadlar biror hajmiy zichlik bilan taqsimlangan bo'lsa:

$$\oint_S D_n dS = \int \rho dV$$

tarzida yoziladi.

Segnetoelektriklar

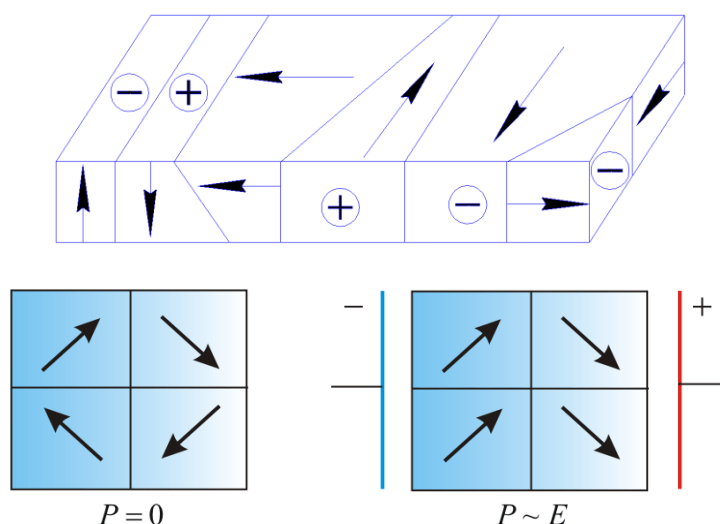
Dielektriklarning shunday alohida turlari borki, ular tashqi elektr maydoni bo'lmaganda ham, o'z - o'zidan to'yunish darajasigacha qutblangan elementar hajm (domenlar)ga bo'lingan bo'ladi (4.3-rasm). Domenlar dipol momenti vektori tartibsiz yo'nalganligi sababli, segnetoelektrik jism dipol momentining algebraik yig'indisi nolga teng bo'ladi.

Elektr maydoniga kiritilgan segnetoelektriklar qator xossalari bilan dielektriklardan farq qiladi:

1) Normal sharoitda segnetoelektriklarning dielektrik singdiruvchanligi dielektriknikidan 10^4 -marta katta bo'ladi;

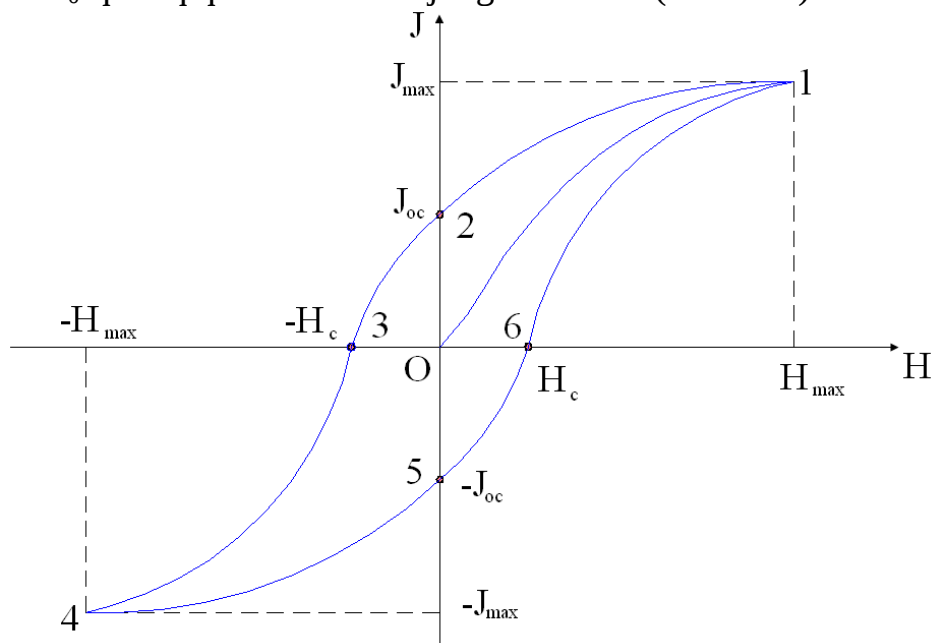
2) Segnetoelektriklarning dielektrik singdiruvchanligi ularning nafaqat kimyoviy tabiati, balki temperaturasi hamda qutblanish darajasiga ham bog'liq bo'ladi;

3) Segnetoelektriklar *gisteresis* xossasiga egadir.



4.3-rasm

Dastlab segnetoelektriklar tashqi elektr maydonida P_1 -to'yinish darajasigacha qutblanadi. Tashqi maydon kuchlanishi (E) kamayishi bilan qutblanish P sekin-asta kamayib, $E=0$ da P_0 -qoldiq qutblanishni vujudga keltiradi (4.4-rasm).



4.4-rasm

Qoldiq qutblanishni yo'qotish uchun jismga teskari yo'nalishda kuchlanish berilishi lozim. Qoldiq qutblanish nolga teng bo'lganda segnetoelektrikka qo'yilgan teskari kuchlanishning qiymati *konservativ* kuch deb yuritiladi.

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

5) Har bir segnetoelektrik uchun o'ziga xos temperatura T_K -mavjud bo'lib, u Kyuri nuqtasi deb yuritiladi. T_K -dan yuqori temperaturada segnetoelektriklar o'z xususiyatlarini yo'qotib, qutbli dielektriklar kabi bo'lib qoladi.

Quyida ba'zi segnetoelektriklarning Kyuri-temperaturasi ko'rsatilgan:

mi	Segnetol.no	Xim.tarkibi	Kyuri temp.
	Titanat bariy	BaTiO_3	406^0K (133^0C)
	Niobit litiy	LiNbO_3	1488^0K (1210^0C)
	Cignit tuzi	$\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6$ $4\text{H}_2\text{O}$	255^0K (-18^0C)- 297^0K (24^0C)

Nazorat savollari.

1. Dielektrlarning tuzilishi.
2. Elektr maydoni dipolga qanday ta'sir ko'rsatadi?
3. Qutblangan va qutblanmagan molekuladan iborat bo'lgan dielektrikning qutblanishida qanday farq bor?
4. Qutblanish vektori qanday fizik ma'noga ega?
5. Elektr siljish vektori, kuchlanganlik vektori va qutblanish vektorlari o'rtasida qanday boglanish bor?
6. Qutblangan zaryad bilan qutblanish vektori orasida qanday boglanish bor?
7. Dielektrik uchun Gauss teoremasining kurinishi qanday buladi?
8. Nisbiy dielektrik singdiruvchanlik bilan muxitning dielektrik kabul kiluvchanligi o'rtasida qanday boglanish bor?
9. Segnetoelektriklar va ularning boshka dielektrlardan farki nima?
10. Kattik jismlarning qutblanishining oddiy dielektrlardan farki? To'g'ri va teskari p'ezoelektrik effekt nimadan iborat?

5- ma'ruza. O'ZGARMAS ELEKTR TOKI

Reja

1. O'tkazgichlardagi elektr toki. Elektr tokining mavjud bo'lish sharti.
2. Metallarda elektr o'tkazuvchanligining klassik nazariyasi.
3. Om va Joule-Lens qonunlarining differensial va integral ko'rinishlari.
4. Tashqi kuchlar. Elektr yurituvchi kuch (EYUK). Butun zanjir uchun Om qonuni.
5. Kirxgof qoidalar.
6. Vakuumda elektr toki.

Elektr toki. Tok kuchi. Tok zichligi.

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

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

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

v) O'tkazuvchanlik berk kontur orqali magnit oqimining o'zgarishi induksion tok hosil qiladi;

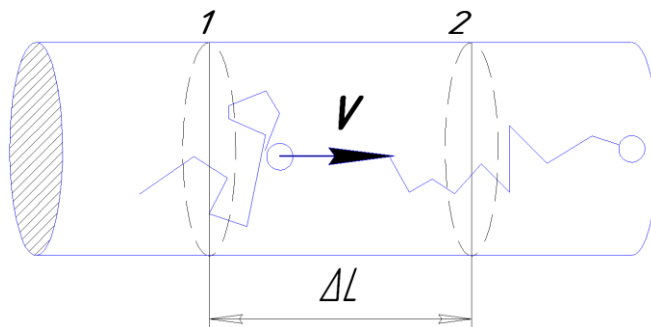
g) Dielektrlarda o'zgaruvchan elektr maydoni toklarga xos magnit maydonini vujudga keltirishi siljish toki deb yuritiladi.

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

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

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

Elektr maydoniga joylashtirilgan o'tkazgich tarkibidagi zaryadli zarrachalar, ikki xil: tartibsiz issiqlik harakatida va maydon kuchlarining tartibli harakatida qatnashadi (5.1-rasm).



5.1-rasm

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

$$dq = e \cdot n \langle\langle u \rangle\rangle dS \cdot dt \quad (5.2)$$

tok kuchining ta'rifiga ko'ra

$$i = en \langle\langle u \rangle\rangle dS \quad (5.3)$$

Tok o'tkazgichlarda taqsimlanishini to'laroq xarakterlash uchun tok zichligini tushunchasidan foydalaniladi.

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

$$\vec{j} = \frac{di}{dS} \quad (5.4)$$

(5.3) va (5.4) lardan

$$\vec{j} = en\vec{u} \quad (5.5)$$

Tok kuchi esa:

$$i = \oint_S j dS \quad (5.6)$$

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.

$$I = \frac{q}{t} \quad (5.7)$$

O'zgarmas tokning yo'nalishi sifatida musbat zaryadli zarrachalarning harakat yo'nalishi qabul qilingan. Xalqaro birliklar sistemasida tok kuchining birligi qilib, 1 Amper qabul qilingan.

1 Amper shunday tok kuchidirki u vakuumda joylashgan ikki parallel tokli o'tkazgichlar 1 metr oraliqda uzunligi bir metr bo'lgan o'tkazgichga $2 \cdot 10^{-7}$ N kuch bilan o'zaro ta'sir etadi.

$$1A = 1Kl \cdot sek$$

Elektr yurituvchi kuch

O'tkazgichlar uchida potentsiallar farqi hosil qilinib, uni saqlab turish choralari ko'rilmasa tok tezda yo'qoladi, chunki zaryadlar o'tkazgich sirtida tekis taqsimlanib, ekvopotensial sirt hosil qiladi.

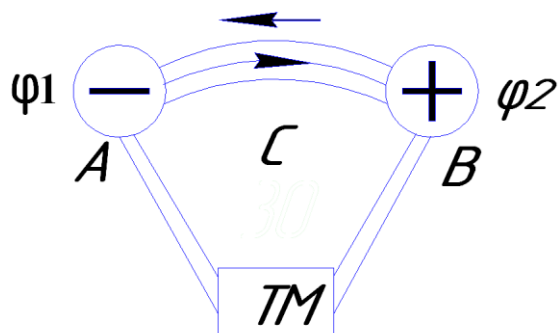
Tok davomli o'tib turishi uchun:

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

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

Tashqi kuchlar zaryadni berk zanjir bo'ylab ko'chirishda ish bajarib, o'tkazgich uchlarida potentsiallar farqini hosil qiladi, ya'ni *noelektrostatik* kuchlar energiyasini elektr energiyasiga aylantiradi. Bunday tashqi kuchlar manbai tok manbai deb yuritiladi (30-rasm).

Tok manbalariga kimyoviy reaksiya energiyasi hisobiga zaryadlarni ajratadigan galvanik elementi, akkumulyator batareyasi, turli jinsli metallardan tuzilgan termobatareya, tok generatori, quyosh batareyalari misol bo'la oladi.



5.2-rasm

Tok manbalarini xarakterlashda elektr yurituvchi kuch tushunchasidan foydalaniladi. *Birlik musbat zaryadni elektr maydonida ko'chirishda tashqi kuchlarning bajargan ishiga son jihatdan teng kattalik elektr yurituvchi kuch deb ataladi.*

$$\varepsilon = \frac{A_{TK}}{q} \quad (5.8)$$

Xalqaro birliklar sistemasida E.Yu.K. (elektr yurituvchi kuch)ning birligi qilib 1 Volt qabul qilingan.

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

Tashqi kuchlar maydoni kuchlanganligining vektorini $\vec{E}$ -deb belgilasak:

$$F_{TK} = \vec{E} \cdot q \quad (5.9)$$

Zaryadni ko'chirishda bajarilgan ish:

$$A = \int_L \vec{F} dl = q \int_L \vec{E} dl \quad (5.10)$$

ta'rifga ko'ra:

$$\varepsilon = \frac{A}{q} = \int_L \vec{E} dl \quad (5.11)$$

Shunday qilib, E.Yu.K. – tashqi kuchlar maydon kuchlanganligi vektorining kontur bo'yicha sirkulyatsiyasini ifodalaydi.

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

$$A = q \int_L \vec{E} dl + q \int_L E_i dl = q[\varepsilon + (\varphi_1 - \varphi_2)] \quad (5.12)$$

bu yerdagi,

$$U = \varepsilon + (\varphi_2 - \varphi_1) \quad (5.13)$$

(5.13) dan iborat kattalik kuchlanish deb yuritiladi. *Kuchlanish – birlik musbat zaryadni zanjir bo'ylab ko'chirishda tashqi va elektr kuchlar bajargan ishni bildiradi.*

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 turilishi lozim.

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

$$I \sim U \quad (5.14)$$

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

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

$$R = \frac{U}{I} \quad (5.15)$$

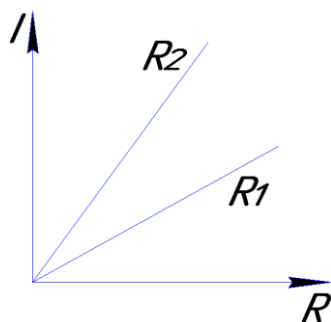
Qarshilikning xalqaro birliklar sistemasidagi birligi 1 Om deb yuritiladi. U shunday o'tkazgichning qarshiligiki, 1 Amper tok o'tib turgan o'tkazgich uchlaridagi potentsiallar farqi 1 Voltga teng bo'ladi. (5.14) va (5.15) dan

$$I = \frac{U}{R} \quad (5.16)$$

(5.16) bir jinsli zanjir uchun Om qonunini ifodalaydi.

Zanjirning bir jinsli qismidagi tok kuchi unga qo'yilgan kuchlanishga to'g'ri proporsional, qarshilikka 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. Quyida qarshiligi $R_1 > R_2$ bo'lgan ikkita o'tkazgichning V.A.X.si keltirilgan (5.3-rasm).

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



5.3-rasm

Silindrik jism uchun:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (5.17)$$

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

$$\rho = \frac{RS}{l} \quad (5.18)$$

Solishtirma qarshilik om·m-da o'lchanadi va qirralari 1 m bo'lgan kub shaklidagi jismning qarshiligini bildiradi.

Masalan: $\rho_{si} = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ om} \cdot \text{m}$;

$\rho_{el} = 2,9 \cdot 10^{-8} \text{ om} \cdot \text{m}$

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

$$\vec{j} \cdot S = \frac{U}{R} = \frac{\vec{E} \cdot l}{\rho l / S}$$

Tok zichligi uchun esa

$$\vec{j} = \frac{1}{\rho} \vec{E} \quad \text{yoki} \quad \vec{j} = \sigma \vec{E} \quad (5.19)$$

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

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

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

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha t^0) \quad (5.20)$$

bu yerda ρ_0 - o'tkazgichning 0°C temperaturasiidagi solishtirma qarshiligi

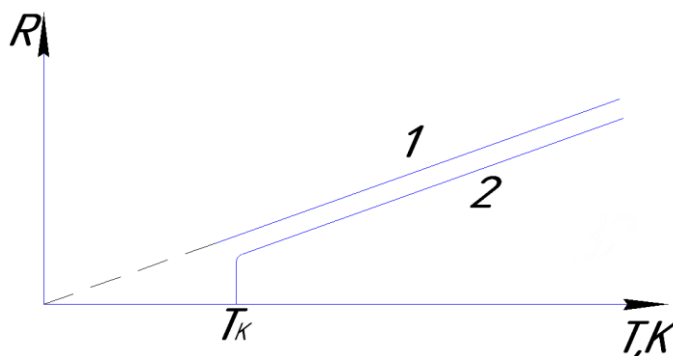
α - qarshilikning termik koeffitsiyenti bo'lib temperatura bir gradusga o'zgarganda qarshilikning qanchaga o'zgarishini bildiradi.

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

(5.17) va (5.20) ifodalardan

$$R = \frac{\rho_0 \cdot l}{S} (1 + \alpha t^0) = R_0 (1 + \alpha t^0) \quad (5.21)$$

quyidagi qarshilikning temperaturaga bog'liq holda o'zgarish grafigi keltirilgan (5.4-rasm):



5.4-rasm

Ba'zi moddalar, shuningdek qotishmalar ma'lum temperaturagacha sovitilsa, absolyut nol temperatura yaqinida ularning qarshiligi keskin o'zgaradi (0 ga teng bo'ladi). Moddalar bunday temperaturada o'ta o'tkazuvchan holatda bo'ladilar. O'ta o'tkazuvchan moddadan tuzilgan berk zanjirda bir marta tok hosil qilinsa, tok kuchi o'zgarmay uzoq muddat saqlanib turadi. Qarshilikning temperaturaga bunday bog'liqligidan amalda elektro *termometr*, *termorezistor*, *tenzometrlar* yasashda foydalaniladi.

Berk zanjir uchun Om qonuni

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

$$\vec{j} = \sigma(E_e + E^*) = \frac{1}{\rho}(\vec{E}_e + E^*) \quad (5.22)$$

(5.22) ning ikkala tomonini dl – ga ko'paytirib, integrallash natijasida quyidagini hosil qilamiz.

$$\oint_L \frac{I\rho}{S} dl = \oint_L E_1 dl + \oint_L E^* dl$$

yoki

$$1 = \frac{\varepsilon + (\varphi_2 - \varphi_1)}{R^*} \quad (5.23)$$

(5.23) bir jinsli bo'lmagan tok zanjiri uchun Om qonunidir.
 R' - zanjirining to'la qarshiligi.

$$R' = \oint \frac{\rho}{S} dl$$

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

$$I = \frac{\varepsilon}{R+r} \quad (5.24)$$

(5.24 3) bekr zanjir uchun Om qonuning ifodasidir. *Berk zanjirda tok kuchi E.Yu.K.ga to'g'ri proporsional, zanjirning tashqi va ichki qarshiliklarining yig'indisiga esa teskari proporsionaldir.*

Agar $R \rightarrow 0$ bo'lsa, tok maksimal qiymatga erishsa, qisqa tutashuv sodir bo'ladi. $I = \frac{\varepsilon}{r} = I_{\max}$. Qisqa tutashuv ko'ngilsiz voqealarning sababchisi hisoblanadi, buning oldini olish uchun zanjir elektr saqlagich bilan jihozlanadi.

Agar $R \rightarrow \infty$ bo'lsa, zanjir ochiq bo'lib, kuchlanish E.Yu.K. ga teng bo'ladi.

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

Joul – Lens qonuni

Kuchlanish manbaiga ulangan tok zanjirining bir jinsli qismini kuzatamiz. Elektr kuchlari dt –vaqt oralig'ida $q=1dt$ zaryadni ko'chirib ish bajaradi:

$$dA = q \cdot U = IUdt \quad (5.25)$$

Om qonuniga muvofiq, bu ish quyidagicha ifodalanadi:

$$dA = I^2 R dt = \frac{U^2}{R} dt \quad (5.26)$$

Agar zanjir qo'zg'almas bo'lib, unda hech qanday ximiyaviy o'zgarishlar sodir bo'lmasa, bajarilgan ish o'tkazgichning ichki energiyasini oshirishga sarflanadi hamda o'tkazgich qiziydi. Buni Joul va Lenslar (1844-y) bevosita tajribada aniqlaganlar. Energiyaning saqlanish qonuniga muvofiq $dQ=dA$

$$Q = \int_0^1 I^2 R dt \quad (5.27)$$

(5.28) Joul-Lens qonunining ifodasi.

Tokli o'tkazgichlardan ajralib chiqqan issiqlik miqdori, tok kuchining kvadrati bilan o'tkazgich qarshiligi va o'tish vaqtining ko'paytmasiga to'g'ri proporsionaldir.

Tokli o'tkazgichlardagi issiqlik hodisalarini xarakterlash uchun solishtirma issiqlik quvvati tushunchasidan foydalaniladi. *Birlik hajmda bir sekund vaqt oralig'ida ajralib chiqqan issiqlik miqdoriga son jihatdan teng kattalik solishtirma issiqlik quvvati deyiladi.*

$$\omega = \frac{dQ}{dVdt} \quad (5.29)$$

Tok kuchini uning zichligi orqali ifodalab:

$$dQ = I^2 R dt = (j dS)^2 \rho \frac{dl}{dS} \cdot dt = j^2 \rho dV dt \quad (5.30)$$

(5.29) va (5.30) lardan:

$$\omega = \rho j^2 \quad \text{yoki} \quad \omega = \sigma E^2 \quad (5.31)$$

(5.31) Joule-Lens qonunining differensial ko'rinishidir.

(Elektr tokining issiqlik ta'siridan har xil maqsadlarda foydalanish mumkin. cho'g'lanma tolali lampa yaratilishi. Mufel pechlarining ishlash prinsiplari elektr tokining issiqlik ta'siriga asoslangan).

Tarmoqlangan zanjirlar uchun Kirxgof qoidasi

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

Tugunda uchrashuvchi toklarning algebraik yig'indisi nolga teng.

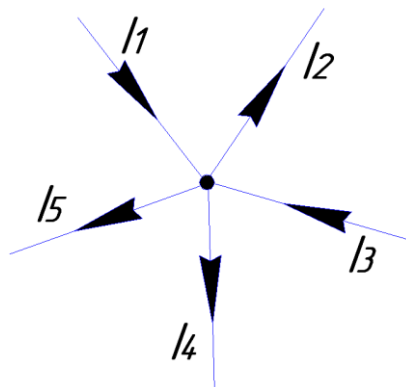
$$\sum I_i = 0 \quad (5.32)$$

Masalan: Quyida ko'rsatilgan tugun uchun (33-rasm) Kirxgofning birinchi qoidasi:

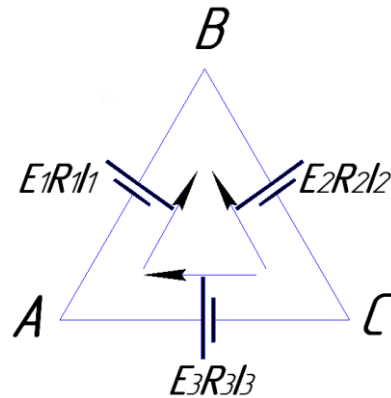
$$I_1 - I_2 + I_3 - I_4 - I_5 = 0 \quad (5.33)$$

Odatda tugunga kelayotgan toklar musbat ishora bilan, chiqayotgan toklar manfiy ishora bilan olinadi.

Bu qoidaning to'g'riligi quyidagi mulohazadan 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 tokning o'zgarishiga olib kelar edi.



5.5-rasm



5.6-rasm

Kirxgofning ikkinchi qoidasi tarmoqlangan zanjirda olingan berk konturga tegishli bo'lib, Om qonunini 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. (5.6-rasm)

$$\sum_{i=1}^k I_i R_i = \sum \varepsilon_i \quad (5.34)$$

Kirxgof tenglamalarini tuzishda quyidagi tartibga rioya qilish lozim:

a) Zanjirning barcha qismlaridagi tok yo'nalishi tanlab olinib, belgilab qo'yiladi;

b) Mustaqil berk kontur uchun tenglamalar sistemasi tuziladi.

Nazorat savollari.

1. Elektr tokining turlari: O'tkazuvchanlik toki, siljish toki, qutblanish toki, induksion tok, vakuumdagi toklarning xossalari.
2. Elektr tokining umumiy ta'rifi va uning ifodasini yozing.
3. Begona kuchlar hosil bo'lish sababi va uning elektrostatik kuchlardan farqi va o'xshashligi nimada?
4. Elektr yurituvchi kuch, kuchlanish va potensiallar ayrimasining fizik ma'nosini tushuntiring.
5. Zanjirning bir qismi va yopiq zanjir uchun Om qonuni nimadan iborat? Ularning fizik ma'nosi nima?
6. Om va Joule-Lenz qonunlarining differensial formalarini chiqaring?. Bu qonunlarning integral va differensial formalarining ekvivalentligini ko'rsatib bering.
7. Om qonunining butun zanjir uchun formulasini energiyaning saqlanish qonunidan foydalanib chiqaring?
8. Kirxgofning birinchi qoidasi - zaryadning saqlanish qonunidan kelib chiqishini asoslab bering, zaryadning saqlanish qonunining oqim chiziqlarining uzluksizligi haqidagi teoremdan kelib chiqishini ko'rsating.
9. Kirxgofning ikkinchi qonunini ifodasini yozing va u murakkab elektr zanjiri uchun energiyaning saqlanish qonunining qo'llanishi ekanligini ko'rsatib bering.
10. Kirxgof qoidalaridan foydalanib, noma'lum o'tkazgichning qarshiligini, noma'lum elektr yurituvchi kuchning kattaligini ko'priq va kompensasiya usullari orqali aniqlashning sxemalarini tuzing.
11. Kirxgof qoidalaridan foydalanib, o'tkazgichlar parallel va ketma-ket ulangan hollarda tok kuchi va kuchlanishning qiymatlarini hisoblang.
12. Hidravlik sistema (suv ta'minoti) bilan elektrik sistema (elektr ta'minoti) zanjirlari o'rtasida qanday o'xshashliklar bor.

6-ma'ruza. KONTAKTDAGI TERMOELEKTRIK HODISALAR

Reja

1. Elektronning metalldan chiqish ishi
2. Termoelektron emissiya. Gazlarda elektr toki. Ionlanish va rekombinasiyalanish jarayonlari.
3. Kontaktdagi potentsiallarning farqi.
4. Termoelektrik hodisalari (Zeebek, Tomson va Pelte effektlari) va ularning qo'llanilishi.
5. Gaz razryadining to'liq volt-amper xarakateristikasi. 5. Plazma haqida tushuncha. Plazmaning elektr o'tkazuvchanligi.

Elektronning metalldan chiqish ishi

Elektronning metalldan vakuumga ajralib chiqib ketishi uchun sarflanadigan energiyasini *elektronning chiqish ishi* deyiladi. U bilan bog'liq ikkita sabab mavjud.

1. Agar elektron qandaydir sabab bilan metalldan chiqib ketsa, o'sha joyda ortiqcha musbat zaryad hosil bo'ladi va elektron unga tortiladi.

2. Ayrim elektronlar metallni tark qilib chiqgach uning sirtida to'planib, manfiy zaryadli «elektron buluti»ni yaratadi. Bu bulut sirtqi qatlamdagi kristall panjaraning musbat ionlari bilan birgalikda, maydonni yassi kondensator maydoniga mos keluvchi, ikkilanma elektrik qatlam hosil qiladi.

Shuning uchun elektron, metalldan ajralib chiqish jarayonida uni ushlab qoluvchi, o'sha qatlamlar orasidagi elektrostatik maydon kuchlariga qarshi ish bajarishga majbur bo'ladi:

$$A = e\Delta\varphi$$

bundagi $\Delta\varphi$ -potentsiallar farqini *sakrab o'zgaruvchi sirt potentsiali* deyiladi. Qatlamlar tashqarisida elektr maydoni mavjud emasligi uchun, muhitning potentsiali nolga teng bo'ladi. Metall ichidagi elektronning potentsial energiyasi vakuumga nisbatan manfiy bo'lib, uning miqdori $-e\Delta\varphi$ ga teng. CHiqish ishi elektron volt (eV)larda ifodalanadi:

$$1\text{eV}=1,6\cdot 10^{-19}\text{KIV}=1,6\cdot 10^{-19}\text{J}$$

CHiqish ishi metallarning ximiyaviy tabiatiga va ular sirtining tozaligiga bog'liq bo'lib, u turli metallar uchun bir necha elektron-volt qiymati chegarasida o'zgaradi (masalan, qalay uchun 2,2eV). Agar metall sirtini ishqoriy yer metallari (Sa, Sr, Ba) bilan qoplansa, unda chiqish ishi 2eV gacha kamayadi.

Termoelektron emissiya hodisasi

Qizdirilgan metalldan elektronlarning ajralib chiqish hodisasini termoelektron emissiya hodisasi deb aytiladi. Oddiy, ikki elektrodli lampa, vakuumli diod yordamida termoelektron emissiya qonunlarini o'rganish

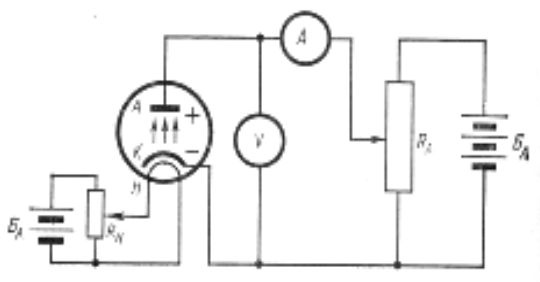
mumkin. Havosi so'rib olingan bu lampa ichida K katod va A anod deb ataluvchi ikkita elektrod joylashgan (6.1 -rasm).

Agar diodni zanjirga ulab, katod qizdirilsa va anodga musbat kuchlanish berilsa, elektr toki hosil bo'ladi. Bu bog'lanish vakuumli diodning volt amper xarakteristikasi deyiladi. Bu holda, anod toki va kuchlanishi orasidagi bog'lanish diagrammasi egri chiziqdan iborat bo'ladi, ya'ni mazkur bog'lanish Om qonuniga bo'ysunmaydi. (6.2- rasm).

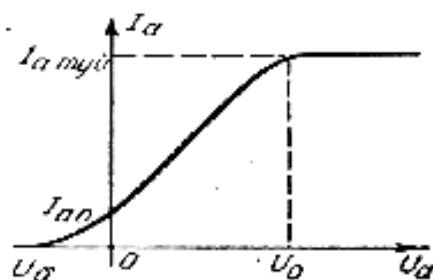
U ning kichik, musbat qiymatlari sohasida termoelektron tok va anod kuchlanishi orasidagi bog'lanishni *Boguslavskiy - Lengmyur qonuni* yoki ba'zi hollarda «*uch taqsim ikki*» qonuni deb ham yuritiladi.

$$I = BU^{3/2}$$

bunda B - elektrodning shakli, o'lchamlari va o'zaro joylashuvigagina bog'liq bo'luvchi koeffitsient.



6.1-rasm



6.2-rasm.

Agar anod kuchlanishi oshirilib borilsa, dastlab zanjirdagi tok kuchi ham o'sib boradi. So'ngra esa, uning miqdori *to'yinish toki* deb ataluvchi maksimal qiymatga etgach, o'sishdan to'xtaydi. Bu jarayon, temperaturasi o'zgarmas bo'lgan katoddan ajralib chiquvchi barcha elektronlarning to'liq holda anodga etib borishi ro'y bergunga qadar davom etadi. Bu esa to'yinish tokining zichligi katod materialining emissiya qobiliyatini xarakterlaydi degan xulosaga olib keladi.

To'yinish tokining zichligi *Richardson-Deshman formulasi* bilan aniqlanadi:

$$j_m = CT^2 e^{-A/(kT)}$$

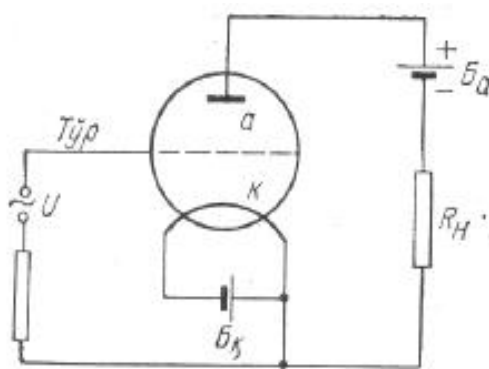
bunda A elektronning katoddan chiqish ishi, T - termodinamik temperatura, C - barcha metallar uchun bir xil bo'lgan doimiy. Bu formuladan ko'rinib turibdiki, katod temperaturasi qanchalik yuqori bo'lsa va katoddan elektronlarning chiqish ishi qanchalik kichik bo'lsa, to'yinish tokning zichligi shunchalik katta bo'ladi. Xaqiqatdan xam, sof vol'framdan yasalgan katod temperaturasini 1000 K dan 3000 K gacha ko'tarilishi natijasida to'yinish tokning zichligi deyarli 10^{16} marta ortadi.

Diodning asosiy xususiyati elektr tokini faqat bir yo'nalishda o'tkazishidir. Diodda anod katodga nisbatan musbat potentsialga ega bo'lgandagina katoddan anod tomon elektronlar oqimi o'tadi. Dioddan o'zgaruvchan toklarni to'g'rilash maqsadida foydalanish mumkin.

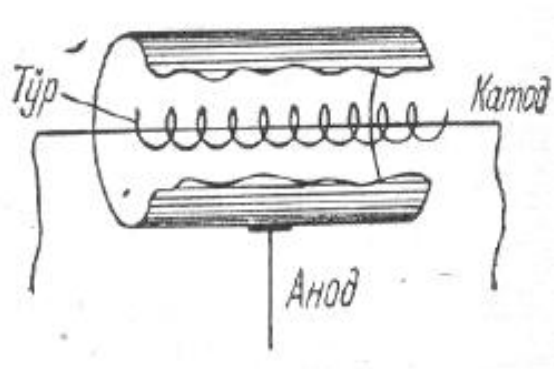
Tok yarim davrlarda anodning potentsiali musbat, katodniki esa manfiy bo'ladi. Shuning uchun lampa orqali tok o'tadi. Juft yarim davrlarda esa anodning potentsiali manfiy, katodniki musbat bo'lganligi uchun lampa berk bo'ladi, ya'ni elektr tokini o'tkazmaydi. Demak, diod orqali faqat bir yo'nalishdagina elektr toki o'tadi. Uchta elektrodi bo'lgan lampani *triod* deb ataladi (6.3-rasm).

Uchinchi elektrod katod bilan anod orasida (katodga yaqin masofada) joylashtirilgan to'rdan iborat bo'ladi. 6.4-rasmda triodning eng ko'p qo'llanilgan konstruksiyasi tasvirlangan.

Bu lampada katod bevosita qizdiriladi. Katod atrofidagi spiral to'r vazifasini o'taydi. Katod va to'rni o'rab turgan metall tsilindr esa anod bo'lib xizmat qiladi.



6.3-rasm.



6.4-rasm.

To'rga musbat kuchlanish berilganda to'r va katod orasida vujudga kelgan elektr maydon termoelektronlarga tezlashuvchi ta'sir ko'rsatadi. To'r anodga qaraganda katodga ancha yaqin bo'lganligi uchun to'rdagi kuchlanishning ozgina o'zgarishi anod tokining ancha o'zgarishiga sababchi bo'ladi. Demak, to'rga beriladigan kuchlanishini o'zgartirish yo'li bilan triodning anod zanjiridagi tokni boshqarish mumkin. Umuman elektronlar oqimi hosil qilish lozim bo'lgan qurilmalarda keng qo'llaniladi.

Kontakt potentsallar farqi

1797 yilda A.Volta ikki metall o'zaro kontaktlashsa, ulardan biri musbat ikkinchisi esa manfiy zaryadlanishini aniqladi. Natijada metallar orasida *kontakt potentsiallar farqi* deb yuritiluvchi potentsiallar farqi vujudga keladi. Agar Al, Zn, Sn, Pb, Sb, Bi, Hg, Fe, Cu, Ag, Au, Pt, Pd kabi metallar, ko'rsatilgan ketma-ketlikda kontaktlashtirilsa, unda bar bir metall o'zidan keyingi istalgan metall bilan musbat zaryad namoyon etib kontaktlashadi. Bu qatorni *Volta qatori* deb yuritiladi. *Volta tajribaga tayanib quyidagi ikki qonunni aniqladi:*

Kontakt potentsiallari farqi o'zaro tegishuvchi metallarni faqat ximiyaviy tarkibiga va temperaturasiga bog'liq bo'ladi.

O'zaro ketma-ket ulangan bir xil temperaturali turli o'tkazgicblardan tasbkil topuvchi tizimning kontakt potentsiallari ayirmasi oraliq o'tkazgicchlarning ximiyaviy tarkibiga bog'liq emas, balki faqatgina ikki chetdagi metallarning bevosita

ulanishidan hosil bo'luvchi kontakt potentsiallar ayirmasigagina teng bo'ladi. Turli metallarda chiqish ishining turlicha bo'lishi buning birinchi bosh sababi hisoblanadi. Elektronlarning, chiqish ishi kichik bo'lgan metallardan chiqish ishi katta bo'lgan metallga o'tishi oson bo'lgani uchun birinchi metall musbat, ikkinchisi esa manfiy zaryadlanib qoladi. Ularning chegarasida-ichida kuchli elektr maydoni bo'lgan, turli ishorali zaryadlarning qo'sh qatlami hosil bo'ladi. Bu maydon elektronlarning bundan buyon, birinchi metallardan ikkinchisiga o'tishiga to'sqinlik qilib, teskari jarayonga esa yordamlasha boshlaydi. Natijada bu ikki jarayon orasida *dinamik muvozanat* yuzaga keladi, qo'sh qatlam orasidagi kuchlanganlik (potentsiallar farqi) o'zining maksimal qiymatiga erishadi.

Agar 1-metalldan chiqish ishi A_1 , 2-metalldan chiqish ishi A_2 ($A_2 > A_1$) bo'lsa, toki potentsiallar farqi: $\Delta\varphi_{1,2} = \frac{A_2 - A_1}{e} = \frac{A_1 - A_2}{e}$ ga tenglashmaguncha 1-metalldan 2-siga o'taveradi.

Endi elektronlar chiqish ishlari bir xil ($A_1 = A_2$) bo'lgan, ammo erkin elektronlar kontsentratsiyasi har xil bo'lgan ($n_2 < n_1$) metallar kontaktini ko'rib chiqaylik. Ravshanki, $n_2 < n_1$ bo'lsa, erkin elektronlarning birinchi metallardan ikkinchi metallga ortiqcha o'tishi (diffuziyasi) boshlanadi. Natijada birinchisi musbat, ikkinchisi manfiy zaryadlanib, ular orasida yana potentsiallar farqi hosil bo'ladi. Uning qiymati erkin elektronlar konsentratsiyasiga bo'g'liq bo'ladi:

$$\Delta\varphi_{12} = \frac{kT}{e} \ln \frac{n_1}{n_2}$$

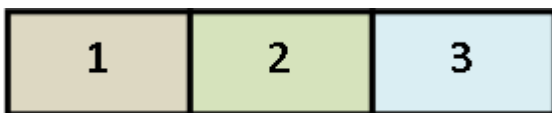
Ko'rib o'tilgan ikki sababning natijaviy ta'siri ostida birinchi va ikkinchi metallar orasidagi kontakt potentsiallar farqi quyidagicha ifodalanadi:

$$\Delta\varphi_{12} = \Delta\varphi'_{1,2} + \Delta\varphi''_{1,2} \quad \text{yoki} \quad \Delta\varphi_{12} = \frac{A_1 - A_2}{e} + \frac{kT}{e} \ln \frac{n_1}{n_2}$$

Olinagan ifodani kontaktlangan uch xil metall uchun umumlashtirib ko'raylik. 6.5-rasmdan ravshanki, Kirxgofning II qoidasiga binoan, tizimning to'liq kontakt potentsiallar ayirmasi kontaktlangan qismlardagi kontak potentsiallar ayirmalarining yig'indisiga teng:

$$\begin{aligned} \varphi_1 - \varphi_2 &= -\frac{A_1 - A_2}{e} + \frac{kT}{e} \ln \frac{n_1}{n_2} - \frac{A_2 - A_3}{e} + \frac{kT}{e} \ln \frac{n_2}{n_3} \\ \varphi_1 - \varphi_2 &= -\frac{A_1 - A_3}{e} + \frac{kT}{e} \ln \frac{n_1}{n_3} \end{aligned}$$

Demak, uch va undan ortiq xildagi metallar kontaktga keltirilsa, tizimning to'liq kontakt potentsiallar ayirmasi, oraliqdagi metallarning tabiatiga bog'liq emas ekan. Bu farq ikki chekkadagi metallarning tabiati bilan belgilanar ekan.



6.5-rasm.

Termoelektrik hodisalar

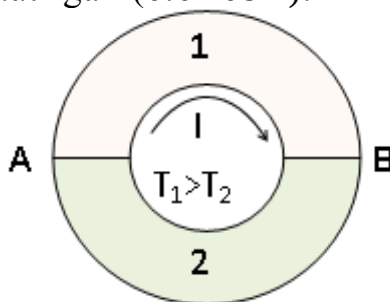
Voltaning ikkinchi qonuniga binoan, bir xil temperaturali, bir nechta metallardan tashkil topuvchi berk zanjirda EYuK vujudga kelmaydi, ya'ni elektr toki hosil bo'lmaydi. Lekin, kontaktlar temperaturasi turlicha bo'lsa, zanjirda *termoelektrik tok* deb ataluvchi, tok paydo bo'ladi. Metallarda, yarim o'tkazgichlarda issiqlik ta'siri ostida elektr hodisasi, elektr ta'sirida issiqlik hodisalari ro'y berishi mumkin. Buni *termoelektrik hodisalar* deb ataladi. Uning hosil bo'lish tabiati bilan bog'liq bo'lgan quyidagi effekt bilan tanishamiz.

Zeebek effekti. 1821 yilda nemis fizigi T.Zeebek *berk zanjirni tashkil elgan ikki xil metalning kavsharlangan qismlarini turli temperaturalarda ushlab turilsa, zanjir bo'ylab oquvchi elektr tokni* qayd qiladi. Kavsharlangan nuqtalardagi temperaturalar farqining ishorasi o'zgartirilsa, tok yo'nalishi ham o'zgaradi. Termo EYuK hosil bo'lishining sababi shuki, kavsharlangan turli metallarning qizigan uchidagi yuqori energiyali elektronlar konsentratsiyasi sovuq uchiga nisbatan ko'proq bo'ladi va tez elektronlarning issiqroq uchidan sovuq uchiga qarab diffuzion oqimi vujudga keladi, o'tkazgichlarning issiq uchlari yaqinida esa elektronlarning kamayishi hisobiga ular musbat zaryadlanadilar. Sovuq uchlari manfiy zaryadlanadi, natijada o'tkazgichlarning uchlari *potentsiallar farqi* vujudga keladi.

Berk zanjirlarda ko'pgina metallar jufti (masalan Cu-Bi, Ag-Cu, Au-Cu) uchun elektr yurituvchi kuch-kontakdagi temperaturalar farqiga to'g'ri proportsional bo'ladi:

$$\varepsilon = \alpha(T_1 - T_2)$$

bunda ε -termoelektr yurituvchi kuch deyiladi. $T_1 > T_2$ hoi uchun tokning yo'nalishi strelka bilan ko'rsatilgan (6.6-rasm).



6.6-rasm

Masalan, uchun temperaturalar farqi 100 K bo'lgan mis-konstantin metallar jufti uchun termo EYuK bor-yo'g'i 4,25 mV ni tashkil etadi.

Zeebek effekti termodinamikaning ikkinchi qonuniga zid emas, chunki bunda ichki energiya elektr energiyasiga aylanadi. Shu sababli, mazkur zanjirda doimiy tok bo'lishi uchun, doimo kontakdagi temperaturalar farqini ushlab turish, ya'ni kontaktning bir uchiga issiqlik berish, ikkinchisidan esa issiqlikni olib turish darkor.

Zeebek effektidan temperaturalarni o'lchash uchun foydalaniladi. Undan shuningdek elektr tokining generatsiyalash uchun ham foydalanish mumkin.

Pel't'e effekti. Frantsuz fizigi J. Pel't'e tomonidan 1834 yilda kashf etilgan. Bu effekt quyidagicha ta'riflanadi:

Turli metall yoki yarim o'tkazgichlar kontaktlaridan elektr toki o'tsa, tokning yo'nalishiga bog'liq ravishda shu kontaktda issiqlik yutiladi va yoki ajraladi. *Bu issiqlik miqdori quyidagi formula bilan ainqatlanadi.*

$$Q = \Pi \cdot I \cdot t.$$

Bunda Π -Pel't'e koeffitsienti, I -tok kuchi va t -tokning o'tib turish vaqti. Pel't'e hodisasi quyidagicha tushuntiriladi. Agar zaryad tashuvchilar ikki metall kontaktidan o'tib, kichik energiyali (chiqish ishi nisbatan katta) metallga tushsa, ortiqcha energiyani kristall panjaraga beradi, natijada kontakt qiziydi. Aks holda energiya yutiladi.

Pel't'e effektidan foydalanib, xonalarni isitish yoki sovutish mumkin.

Tomson effekti. Termodinamika mulohazalari asosida Vilyam Tomson (Kelvin) 1856 yilda *uzunligi bo'yicha temperature gradienti bo'lgan o'tkazgichdan tok o'tganda Pel't'e issiqligiga o'xshash issiqlik ajralishi va yoki yutilishi kerak* degan fikrni ilgari surdi. Bu gipoteza tajribada tasdiqlanib, Tomson effekti nomini oldi. Uning matematik ifodasi quyidagicha:

$$Q_m = K_m(T_2 - T_1)I \cdot t$$

bunda K_m -Tomson koeffitsienti bo'lib, uning qiymati materialning tabiatiga bog'liq.

7- ma'ruza. MAGNIT MAYDONI VA UNING XARAKTERISTIKALARI

Reja

1. Vakuumda magnit maydoni. Magnit maydon induksiya vektori.
2. Vakuumda magnitostatikaning asosiy tenglamasi. Magnit maydon induksiyasi superpozitsiya prinsipi.
3. Bio-Savar-Laplas qonuni. To'g'ri va aylanma tokning magnit maydonini hisoblash.
4. Vakuumdagi magnit maydon induksiya vektorining sirkulyasiyasi.
5. Solenoid va toroidning magnit maydoni.

Tok va doimiy magnit joylashgan fazoning bo'lagida magnit maydoni deb ataluvchi kuch maydoni hosil bo'ladi. Uning muhim xususiyati shundaki, u faqat shu maydonda harakatlanuvchi zaryadlarga ta'sir qiladi. Tajribalardan ma'lum bo'lishicha, magnit maydonining tokka ko'rsatadigan ta'siri o'tkazgichning shakliga, maydondagi joylashishiga va undan o'tayotgan tok kuchiga bog'liq bo'lar ekan. Shu sababli magnit maydonini o'rganish uchun geometrik o'lchamlari juda kichik bo'lgan tokli, yassi kontur (ramka) dan foydalanamiz. Konturning fazodagi joylashuvini shu konturga o'tkazilgan normalning yo'nalishi orqali xarakterlaymiz. Uning musbat yo'nalishi (7.1- rasm) ko'rsatilgan. Berilgan nuqtadagi magnit maydon yo'nalishi sifatida, shu nuqtaga joylashtirilgan tok konturining musbat yo'nalishi olinadi (7.2- rasm). Shuningdek, shu nuqtadagi magnit strelkasi (ignasi) ning shimoliy qutbga ta'sir qiluvchi kuchning yo'nalishi orqali ham aniqlanishi mumkin. Magnit maydoni tokli konturga aylantiruvchi, juft kuch sifatida ta'sir qilib, uni ma'lum bir yo'nalish bo'yicha joylashishga majbur qiladi. Kuchning aylantiruvchi momenti – maydonning shu nuqtasidagi xossalriga hamda konturning xossalriga bog'liq bo'ladi.

$$\vec{M} = [\vec{P}_m \vec{B}] \quad (7.1)$$

bunda $\vec{B}$ -magnit induksiyasi vektori bo'lib, u magnit maydoninig miqdoriy xarakteristikasi hisoblanadi, $\vec{P}_m$ -tokli konturning magnit momenti vektori. Tok o'tayotgan yassi kontur uchun

$$\vec{P}_m = IS\vec{n} \quad (7.2)$$

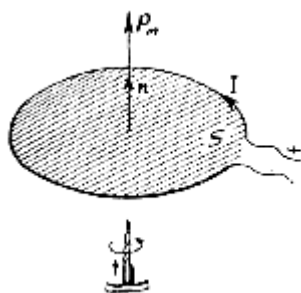
bunda S -kontur sirti yuzasi, $\vec{n}$ -kontur sirtiga o'tkazilgan normalning birlik vektori. $\vec{P}_m$ ning yo'nalishi musbat normal bilan ustma-ust tushadi.

Magnit maydonini magnit maydon induksiyasi xarakterlaydi:

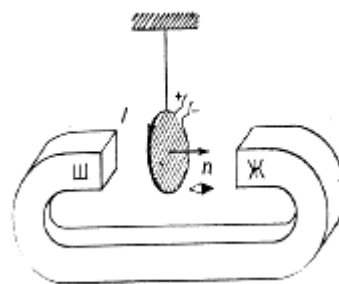
$$B = \frac{M_{\max}}{P_m} \quad (7.3)$$

Magnit maydon grafikasini esa *magnit induksiyasi chiziqlari* yordamida ifodalash mumkin. Ularning har bir nuqtasiga o'tkazilgan urinma shu nuqtadagi $\vec{B}$ vektorining yo'nalishi bilan bir xil bo'ladi. Bu yo'nalish *o'ng vint qoidasi* bilan aniqlanadi. Agar vint o'qi tok yo'nalishi bo'ylab ilgariylanma harakatga keltirilsa, unda vint dastasi magnit induksiyasi chiziqlari yo'nalishida aylanadi.

Magnit induksiyasi chiziqlari doimo berk va o'tkazgichni qamrab oluvchi tarzda joylashadi.



7.1-rasm

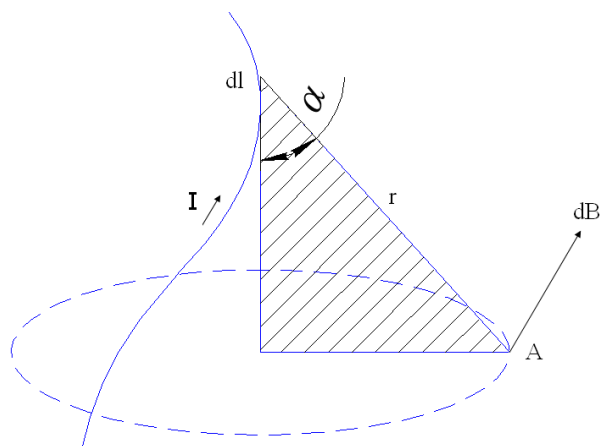


7.2-rasm

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 maydonni hosil qiluvchi tok kuchi, tokli o'tkazgich shakli va uning o'lchamlariga bog'liq ekanligini aniqladilar. Magnit induksiyasi vektor xarakterga ega ekanligiga e'tibor berib, (7.3–rasm) Laplas tajriba natijalarini umumlashtirib, tok elementi hosil qilgan ixtiyoriy nuqtadagi magnit induksiyasi vektori uchun quyidagi formulani keltirib chiqaradi:

$$d\vec{B} = k \frac{I \, d\vec{r}}{r^3} \quad (7.4)$$



7.3 – rasm

k – proporsionallik koeffitsiyenti bo'lib, o'lchov qanday sistemada tanlab olinishiga bog'liq. Agar o'lchov xalqaro birliklar sistemasida tanlab olinsa,

$$k = \mu_0 / 4\pi \quad (7.5)$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ ГН/М} \quad (7.6)$$

bunda μ_0 – magnit doimiysi

Superpozitsiya prinsipiga asosan, har qanday tokli

o'tkazgichning magnit induksiya vektori, uning elementar bo'lakchalari hosil qilgan induksiya vektorlarining geometrik yig'indisiga teng.

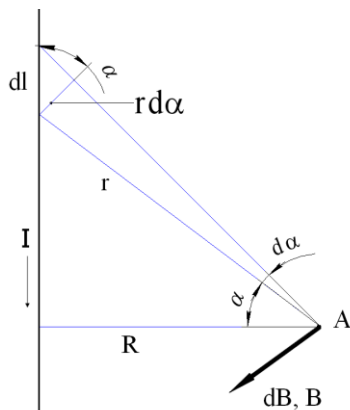
$$\vec{B} = \sum d\vec{B}; \text{ yoki } B = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \oint \frac{dl}{r^2} \sin \alpha \quad (7.7)$$

(7.7) Bio – Savar-Laplas qonunining ifodasidir.

Har qanday tokli o'tkazgich magnit maydonining ixtiyoriy nuqtasidagi magnit induksiyasi, tok kuchi va tok elementi uzunligi, tok elementi bilan kuzatish yo'nalishi orasidagi 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 – o'uzoqlikda (7.4–rasm). Barcha tok elementlaridan A – nuqtada hosil bo'layotgan magnit induksiya vektorlari bilan to'g'ri chiziq ustida yotib, bir tomonga yo'nalgan bo'ladi (o'ng vint qoidasiga muvofiq). Shu tufayli $d\vec{B}$ – vektorining yig'indisini ularning moduli yigindisi bilan almashtirish mumkin.



7.4- rasm

7.4-rasmdan:

$$r = \frac{R}{\sin a};$$

$$dl = \frac{r da}{\sin a} = \frac{R da}{\sin^2 a} \quad (7.8)$$

buni (7.7) ga qo'yib:

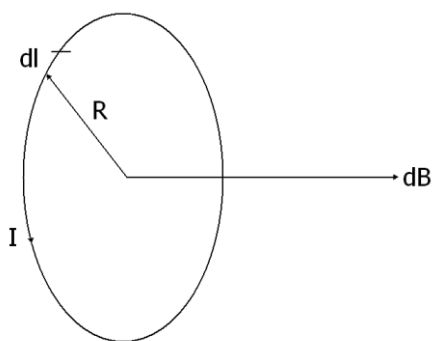
$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I}{R} \sin a da \quad (7.9)$$

(7.9) ni a – ning o'zgarish sohasi $(0 - \pi)$ da integrallaymiz:

$$B = \int_0^\pi \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I}{R} \sin a da = \frac{\mu_0 2I}{4\pi R}; \quad B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R} \quad (7.10)$$

(7.10) to'g'ri tokli o'tkazgich magnit maydoni induksiyasining ifodasidir.

Doiraviy tokli o'tkazgich markazidagi magnit maydoni.



7.5– rasm

Doiraviy tokli o'tkazgichning barcha elementlari normal vektor bilan bir xil yo'nalgan magnit induksiya vektori ($d\vec{B}$) ni hosil qiladi (7.5- rasm). Rasmdan:

$$a = \pi/2 \quad \sin a = 1$$

Bio–Savar–Laplas qonuniga asosan:

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I dl}{R^2} \quad (7.11)$$

(7.11) ni integrallab, quyidagini hosil qilamiz.

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I}{R^2} \int dl = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I}{R^2} \cdot 2\pi R$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{2R} \quad (7.12)$$

(7.12) 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:

$$\oint_L B_L dl = \oint_L B_L dl \cos \alpha \quad (7.13)$$

To'g'ri tokli o'tkazgichga perpendikulyar tekislikda yotgan konturni kuzatamiz. (7.6 - rasm). Konturning har bir nuqtasidagi magnit induksiya vektori shu orqali o'tgan aylanaga urinma tarzda yo'nalgan bo'ladi.

Vektorning skalyarga ko'paytmasidan foydalanib:

$$B_L dl = B dl_B$$

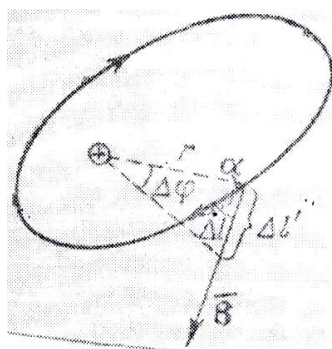
Rasmdan: $dl_B = R d\varphi$ buni hisobga olib (7.13)dan:

$$\oint_L B dl_B = B \oint_L d\varphi \quad (7.14)$$

Konturni aylanib chiqishda, radius vektor bir tomonga siljib, 2π burchakka buriladi.

$$\oint_L B_L dl = BR 2\pi = \frac{\mu_0 I}{2\pi R} 2\pi R = \mu_0 I;$$

$$\oint_L B_L dl = \mu_0 I \quad (7.15)$$



7.6- rasm

Agar kontur bir necha tokni o'rab olgan bo'lsa, magnit induksiya vektorining sirkulyatsiyasi:

$$\oint_L B_L dl = \mu_0 \sum I_L \quad (7.15^1)$$

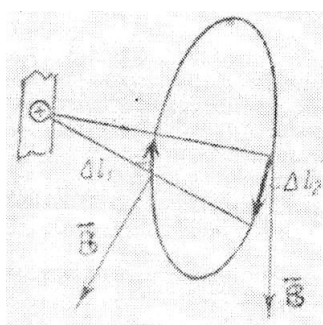
ga teng bo'ladi.

1. Magnit maydonining induksiya chiziqlari berk chiziqlardir. Ularning elektr maydon kuchlanganlik chiziqlari kabi boshlanish nuqtasi ham, tugallanish nuqtasi ham bo'lmaydi. Boshqacha aytganda, tabiatda magnit zaryadlari yo'q;

2. Magnit maydonini 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; (7.7-rasm) radius – vektor dastlab kontur bo'yicha $1 \rightarrow 2$ yo'nalishda qancha burchakka burilsa,



7.7 - rasm

$1 \rightarrow 2$ yo'nalishda shuncha burchakka siljib, to'la burilish burchagi nolga teng bo'ladi, ya'ni: $\oint_L d\varphi = 0$ demak,

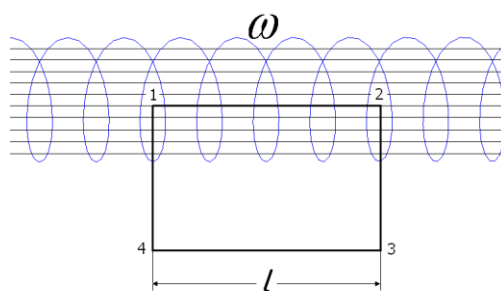
$$\oint_L B_L dl = BR \oint_L d\varphi = 0 \quad (7.16)$$

Endi solenoid maydonining induksiyasini hisoblaymiz. ($l \gg R$ – bo'lgan tokli o'tkazgich solenoid deb yuritiladi (7.8-rasm))

Solenoid kvadrat shaklidagi konturning bir qismini qamrab olgan bo'lsin. Sirkulyatsiyatsining ta'rifiga muvofiq:

$$\oint_L B_L dl = \int_1^2 B_L dl + \int_2^3 B_L dl + \int_3^4 B_L dl + \int_4^1 B_L dl$$

(7.17)



7.8– rasm

(7.17) ifodaning ikkinchi, uchinchi va to'rtinchi hadi nolga teng, chunki konturning integral olinayotgan qismi, tokli o'tkazgichni qamrab olmagan. Shunday qilib:

$$\oint_L B_L dl = \int_1^2 B_L dl = Bl \quad (7.18)$$

Kontur elementi uzunligi n-ta o'ramdan iborat deb sirkulyatsiya uchun

$$\oint_L B_L dl = \mu_o \sum I = \mu_o nI \quad (7.19)$$

(7.18) va (7.19) lardan

$$B = \frac{\mu_o nI}{l} \quad (7.20)$$

(7.20) solenoidning magnit maydoni induksiya ifodasidir.

Magnit oqimi. Gauss teoremasi

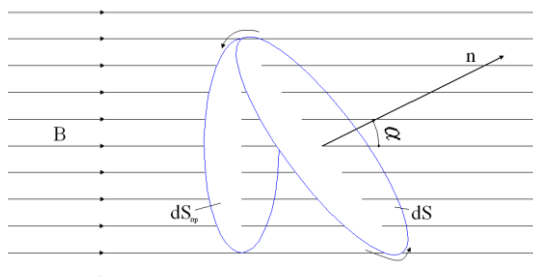
Magnit maydonini xarakterlashda magnit induksiya vektori bilan bir qatorda magnit oqimi tushunchasidan foydalaniladi.

Bir jinsli magnit maydonida joylashgan. dS-yuza orqali o'tayotgan magnit induksiya vektoriga son jihatidan teng kattalik magnit oqimi deb yuritiladi. (80-rasm)

$$d\Phi_B = \oint_S \vec{B} dS \cos \alpha \quad (7.21)$$

7.9-rasmdan, $B \cos \alpha = B_n$ deb belgilab,

$$d\Phi_B = B_n dS \quad (7.22)$$



7.9-rasm

Agar birlik normal vektor ($\vec{n}$) magnit induksiya vektori ($\vec{B}$) bilan o'tmas burchak hosil qilsa, ($\alpha > \pi/2$) $d\Phi_B < 0$ manfiy, aksincha $\alpha < \pi/2$ bo'lsa, $d\Phi_B > 0$ musbat hisoblanadi.

Bir jinsli bo'lmagan magnit maydonida joylashgan berk sirt orqali o'tayotgan magnit oqimini hisoblaymiz, buning uchun sirtni shunday elementar bo'lakchalarga

ajratamizki, uning har bir elementi uchun maydon bir jinsli deb hisoblanishi mumkin bo'lsin. U holda (2)-ni har bir elementar bo'lakcha uchun yozib, integrallaymiz.

$$\Phi_B = \oint_S B_n dS \quad (7.23)$$

(7.23) ixtiyoriy sirt bo'yicha magnit maydon induksiya vektorining oqimini ifodalaydi.

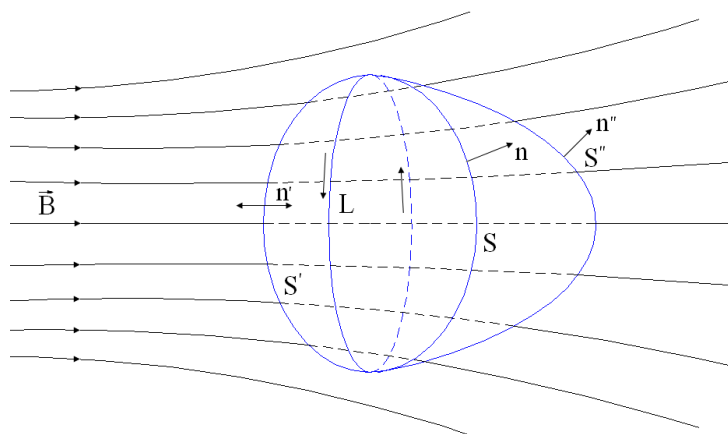
Xalqaro birliklar sistemasida magnit oqimi birligi qilib 1 Veber qabul qilingan.

$$1 \text{ Vb} = 1 \text{ Tl} \cdot \text{m}^2$$

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 musbat magnit oqimi hosil qiladi. Shuning uchun, berk sirt bo'yicha to'la oqim nolga teng:

$$\oint_S B_n dS = 0 \quad (7.24)$$

(7.24) magnit induksiyasi oqimi uchun Gauss teoremasining ifodasidir.



7.10-rasm

L kontur orqali magnit induksiya chiziqlari qancha o'tsa, S, S¹ va S¹¹-sirtlar orqali ham shuncha chiziqlar o'tadi: (81-rasm)

$$\oint_S B_n dS = \oint_S B_n dS = \oint_{S^1} B_n dS + \oint_{S^{11}} B_n dS \quad (7.25)$$

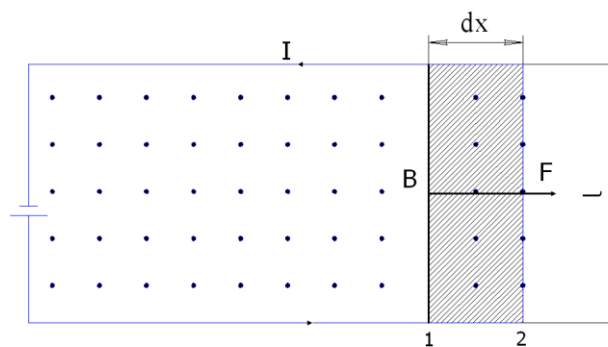
S¹-ga o'tkazilgan tashqi normal magnit maydon induksiya vektoriga qarama-qarshi yo'nalganligi tufayli magnit oqimi manfiy bo'ladi, buni hisobga olib, to'la oqim uchun:

$$\oint_{S^1+S^{11}} B_n dS = \oint_{S^1} B_n dS + \oint_{S^{11}} B_n dS = 0 \quad (7.26)$$

Bundan, har qanday berk sirt uchun magnit oqimi nolga teng degan xulosa chiqadi

Magnit maydonida tokli o'tkazgichni ko'chirishda bajarilgan ish.

Magnit maydon induksiya vektoriga perpendikulyar bo'lgan va magnit oson ko'chadigan tok elementini kuzatamiz. (7.11-rasm)



7.11-rasm

Ma'lumki, magnit maydonidagi tokli o'tkazgichga Amper kuchi ta'sir etadi:

$$F_A = I \cdot Bdl \quad (7.27)$$

Bu kuch tokli o'tkazgichning dl-elementini magnit maydonda ko'chirib ish bajaradi:

$$dA = F_A \cdot dx \quad \text{yoki} \quad dA = IBdl \cdot dx \quad (7.28)$$

$dl \cdot dx = dS$ kontur o'rab turgan yuzaning o'zgarishini ifodalaydi.

$B \cdot dS = d\Phi_B$ magnit oqimining kontur yuzasi orqali o'zgarishini hisobga olib:

$$dA = IBdS = Id\Phi_B \quad (7.29)$$

Magnit maydonida tokli o'tkazgichni ko'chirishda bajarilgan ish magnit oqimining o'zgarishiga proporsionaldir. Bu xulosani istalgan tokli kontur uchun umumlashtirish mumkin (7.12 83-rasm).

Endi magnit maydonida berk konturni ko'chirishda bajarilgan ishni hisoblaymiz. Konturni tutashgan ABC va CDA bo'laklardan tashkil topgan deb tasavvur qilib, to'la bajarilgan ishni ifodalaymiz.

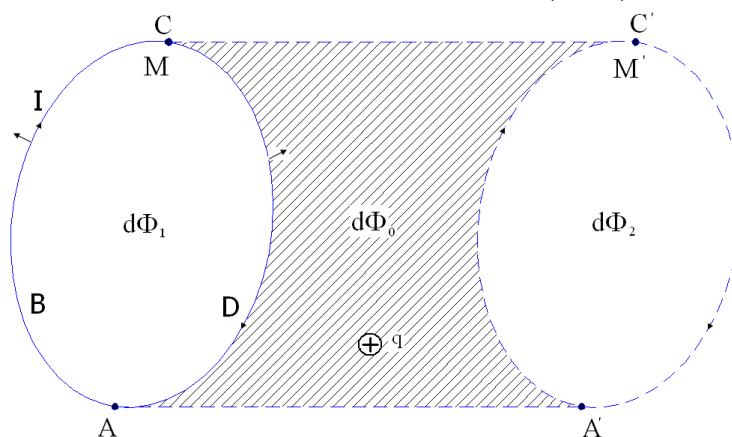
$$dA = dA_1 + dA_2$$

dA_1 -konturning ABC qismini ko'chirishda bajarilgan ish bo'lib, u manfiy ishoraga ega, chunki konturning bu qismiga ta'sir etuvchi kuch harakat yo'nalishi bilan o'tmas burchak hosil qiladi.

$$dA_1 = -I(d\Phi_0 + d\Phi_1)$$

$dA_2 = -I(d\Phi_0 + d\Phi_2)$ Shunday qilib, magnit maydonida berk konturni ko'chirishda bajarilgan ish, kontur yuzasi orqali magnit oqimining o'zgarishiga proporsionaldir

$$dA = Id\Phi^1 \quad (7.30)$$



7.12-rasm

Bu yerda $d\Phi^1 = d\Phi_2 - d\Phi_1$ -kontur orqali o'tayotgan magnit oqimining o'zgarishini bildiradi.

Nazorat savollari

1. Magnit strelkasi (ignasi)dan foydalanib o'zgarmas tok manbai qutblarining ishorasini aniqlash mumkinmi? Qanday?
2. Tokli ramkaning magnit momenti nimaga teng? Uning yo'nalishini aniqlang?
3. Magnit maydon induktsiyasini ta'riflang? B vektorining yo'nalishini qanday aniqlashadi?
4. Bio-Savar-Laplas qonuni yozib, uning fizik ma'nosini tushuntiring?
5. Amper qonunini va uning asosida o'zaro parallel ikki tokning ta'sirlashuvini tushuntiring?
6. Nima sababdan harakatlanayotgan zaryad o'zining magnit xususiyatlari bilan tok elementiga ekvivalent bo'ladi?
7. Protonning magnit maydondagi harakatida Lorents kuchi bajaradigan ish nimaga teng?
8. B magnit induktsiya vektorining tsirkulsiyasi nimadan iborat?
9. Magnit maydon uchun Gauss teoremasini yozing va uning fizik mohiyatini tushuntiring?

8-ma'ruza. MAGNIT MAYDON TAMONIDAN TA'SIR ETUVCHI KUCHLAR

Reja

1. Lorens kuchi. Amper kuchi.
2. Zaryadlangan zarralarning elektr va magnit maydonidagi harakati.
3. Xoll effekti. Tezlatgichlar. Magnit oqimi.
4. Vakuumdagi magnit maydon uchun Gauss teoremasi.
5. Tokli konturning magnit maydonidagi potensial energiyasi.
6. Bir jinsli magnit maydonidagi tokli ramka. Tokli o'tkazgichni magnit maydonida ko'chirishdagi bajarilgan ish.

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 (parallel toklarning o'zaro ta'siri, elektronlar oqimining magnit maydonida og'ishi) asosida tasdiqlangan.

Magnit maydonida harakatlanuvchi zaryadli zarrachalarga ta'sir etuvchi kuch elektr tokining elektron nazariyasi asoschisi Lorens nomi bilan yuritiladi va umumiy holda quyidagicha ifodalanadi:

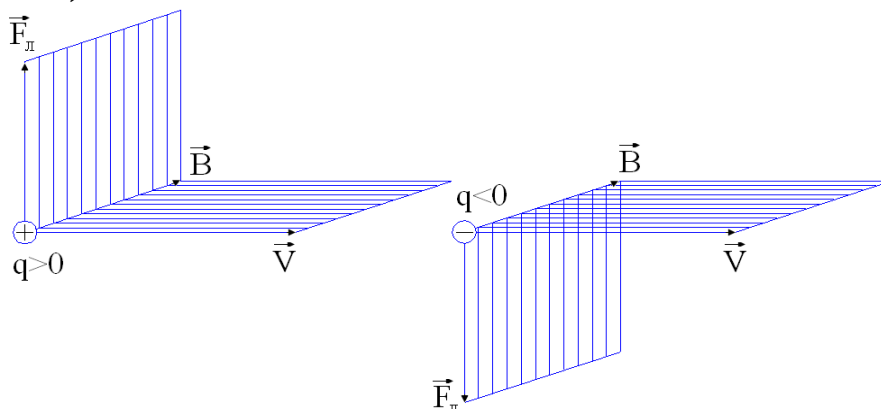
$$\vec{F} = k \cdot q [\vec{v} \cdot \vec{B}] \quad (8.1)$$

bu yerda, k – proporsionallik ko'effitsiyenti bo'lib, xalqaro birliklar sistemasida $k = 1$; Lorens kuchining moduli:

$$F = qvB \sin a \quad (8.2)$$

a – zarrachaning tezlik vektori bilan magnit induksiya vektori orasidagi burchak

$a = 0$ yoki $a = \pi$ bo'lsa, $\sin a = 0$. 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 yo'nalgan bo'lib, musbat zaryad uchun chap qo'l, manfiy zaryad uchun o'ng qo'l qoidasiga muvofiq aniqlanadi (8.1–rasm).



8.1– rasm

Lorens kuchi hamma vaqt zarrachaning tezlik vektoriga perpendikulyarligi tufayli zaryadni ko'chirishda hech qanday ish bajarmaydi, kinetik energiyasini ham o'zgartirmaydi. Shunday qilib, faqat zarrachaga normal tezlanish berib, trayektoriyasini o'zgartiradi xolos. Lorens kuchi tufayli magnit maydonining elektr maydonidan yana bir farqli xususiyati aniqlandi. Magnit maydon tinch turgan zaryadga ta'sir etmaydi, ($v=0, F=0$) faqat harakatdagi zarrachagagina ta'sir etadi.

Amper kuchi

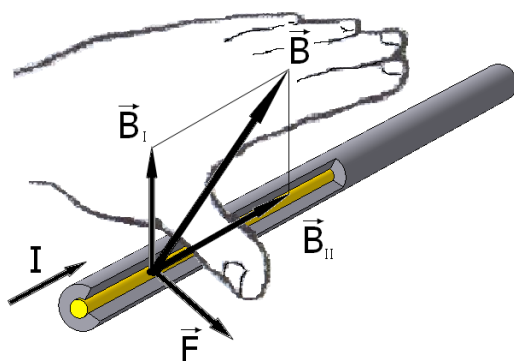
O'tkazgichlarda tok tashiydigan zaryadli zarrachalar, ayni vaqtda tartibsiz issiqlik harakatida (v – tezlik bilan) va maydon kuchlari ta'sirida, tartibli harakat (u – tezlik) bilan qatnashadilar.

O'tkazgich magnit maydonida joylashgan bo'lsa, har bir zaryadli zarrachaga ta'sir etayotgan magnit kuchlarining o'rtacha qiymati:

$$\langle\langle \vec{F} \rangle\rangle = e[\langle\langle \vec{v} \rangle\rangle + \langle\langle \vec{u} \rangle\rangle] \cdot \vec{B} \quad (8.3)$$

Tartibsiz harakat tezligi vektorining o'rtacha qiymati nolga teng. Shu tufayli (1) quyidagicha yoziladi.

$$\langle\langle \vec{F} \rangle\rangle = e[\langle\langle \vec{u} \rangle\rangle \cdot \vec{B}] \quad (8.4)$$



8.2-rasm.

(8.4) bilan aniqlanadigan magnit kuchlari zaryadli zarrachalarning panjara bilan to'qnashuvi orqali o'tkazgichga uzatiladi. Agar o'tkazgichning hajm birligidagi zaryad tashuvchilar sonini n – deb belgilasak, o'tkazgichning dl -elementiga ta'sir etuvchi kuchini quyidagicha ifodalash mumkin (8.2-rasm)

$$d\vec{F} = \langle\langle \vec{F} \rangle\rangle \cdot n \cdot dls = [n e \vec{u} \cdot \vec{B}] dl \cdot S \quad (8.5)$$

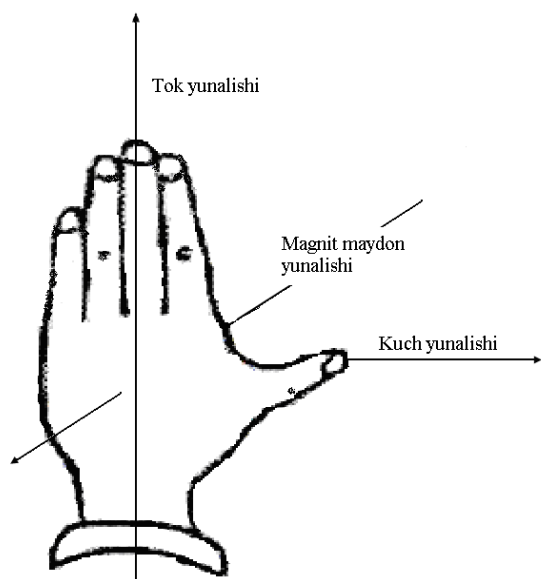
tok kuchini uning zichligi orqali yozamiz:

$$I = \oint_S \vec{j} \cdot d\vec{S} = n e \vec{u} \cdot S \quad (8.6)$$

(8.5) va (8.6) lardan:

$$d\vec{F} = I [d\vec{l} \cdot \vec{B}] \quad (8.7)$$

(8.7) magnit maydoni tomonidan tokli o'tkazgichga ta'sir etuvchi kuch bo'lib,



8.3– rasm.

Amper (1820 y) tomonidan bevosita tajribada aniqlangan.

Bu kuchning moduli

$$F = IBl \cdot \sin \alpha \quad (8.8)$$

Amper kuchining yo'nalishi chap qo'l qoidasiga muvofiq aniqlanadi. Agar chap qo'l kaftiga 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 (8.2, 8.3- rasm).

(8.8)ga to'g'ri tokli o'tkazgichning magnit induksiyasi vektori ifodasini qo'yib, parallel toklarning o'zaro ta'siri qonunini keltirib chiqarish mumkin.

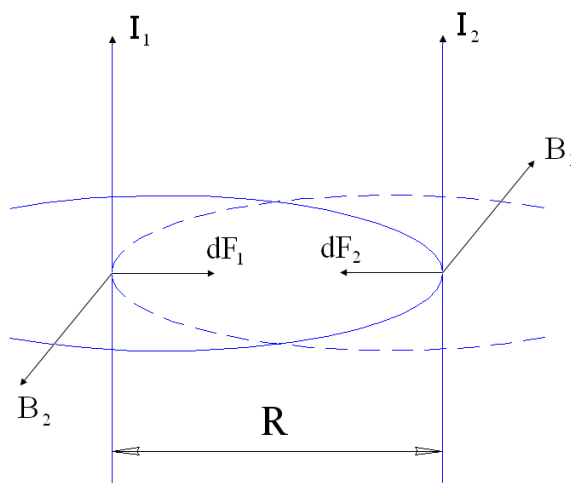
$$B_L = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{2I_1}{R} \quad (8.9)$$

$$F_{21} = I_2 B_1 = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{2I_1 I_2}{R} \quad (8.10)$$

Parallel tokli o'tkazgichlar uzunlik birligiga ta'sir etuvchi kuch har bir o'tkazgichdan o'tayotgan tok kuchiga to'g'ri proporsional bo'lib, ular orasidagi masofaga esa teskari proporsionaldir (8.4- rasm)

$$F = k \frac{2I_1 I_2}{R} \quad (8.11)$$

bu yerda: $k = \frac{\mu_0}{4\pi}$



8.4– rasm

Xoll effekti

Ingliz olimi E.Xoll (1879 y) tajribada magnit maydoniga joylashtirilgan yaxlit tokli o'tkazgichda magnit induksiyasi va tok zichligi vektoriga perpendikulyar yo'nalishda potentsiallar ayirmasi vujudga kelishini aniqladi (8.5-rasm).

Tajribalar ko'rsatishicha, bu potentsiallar ayirmasi o'tkazgichning materiali, uning geometrik o'lchami, magnit maydoni induksiyasi va tok zichligiga bog'liq bo'lib, quyidagicha ifodalanadi:

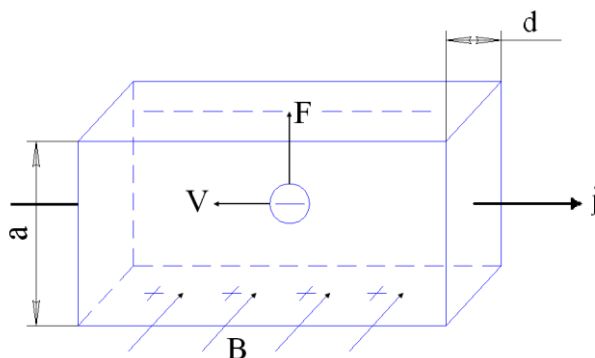
$$(\varphi_2 - \varphi_1) = U_n = RaBj \quad (8.12 \quad 1)$$

Magnit maydonida harakatlanayotgan zaryadli zarrachaga magnit kuchlari ham ta'sir etib, uni og'diradi.

$$\vec{F}_n = e \langle \langle \vec{u} \rangle \rangle \vec{B} \quad (8.13)$$

Natijada, o'tkazgich sirtida bog'langan sirt zaryadlari vujudga keladi. Bu zaryadlarga magnit kuchlari bilan bir qatorda elektr kuchlari ham ta'sir etadi.

$$\vec{F} = e\vec{E} \quad (8.14)$$



8.5– rasm

Zaryadlarning og'ishi magnit va elektr kuchlari o'zaro tenglashguncha davom etadi. (8.13) va (8.14) lardan $\vec{E} = \langle\langle \vec{u} \rangle\rangle \vec{B}$ ni hosil qilamiz.

Potensial gradiyentiga ko'ra:

$$E \frac{\varphi_+ - \varphi_-}{a}; \quad \varphi_+ - \varphi_- = U_n = Ea = \langle\langle \vec{u} \rangle\rangle \vec{B} \cdot a \quad (8.15)$$

Tok zichligini $\vec{j} = en \langle\langle \vec{u} \rangle\rangle$ hisobga olib:

$$U_n = \frac{1}{en} \cdot \vec{j} \cdot Ba \quad (8.16)$$

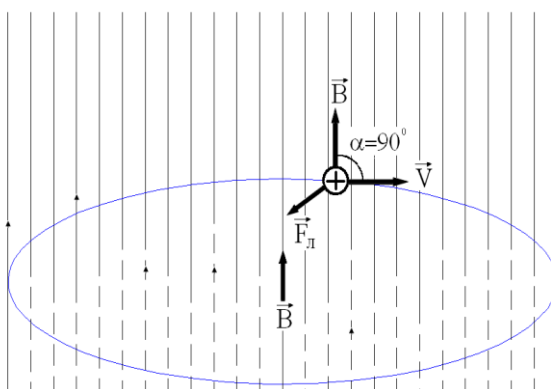
(8.16) va (8.12) larni taqqoslab, Xoll doimiysi uchun:

$$R = \frac{1}{en}$$

Xoll effektidan yarimo'tkazgichlarning elektr xossalarini tahlil qilishda foydalaniladi.

Zaryadli zarrachaning magnit maydonidagi harakati. Tezlatgichlar (Siklotron)

Magnit kuchlarining yo'nalishi zaryadli zarrachalarning tezlik vektoriga perpendikulyarligi tufayli, uning tezligini o'zgartirmay, faqat yo'nalishidan og'diradi, ya'ni normal tezlanish beradi. Magnit kuchlarining ma'lum qiymatida zaryadli zarracha yopiq trayektoriya bo'ylab harakatlanadi. (8.6- rasm)



8.6– rasm

Bunda aylananing radiusi quyidagicha aniqlanadi.

$$a_n = \frac{v^2}{R}; \quad F = ma; \quad R = \frac{mv^2}{qB} = \frac{m}{q} \cdot \frac{v^2}{B} \quad (8.17)$$

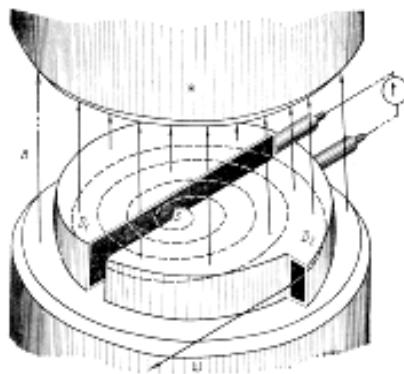
(8.17) ifodadan aylananing radiusi zarracha tezligi, magnit maydon induksiyasi, solishtirma zaryad miqdoriga proporsional degan xulosa kelib chiqadi. Zaryadli zarrachani aylanish davri quyidagi tenglikdan aniqlanadi.

$$T = \frac{2\pi R}{v} = 2\pi \frac{m}{q} \cdot \frac{1}{B} \quad (8.18)$$

Magnit va elektr kuchlaridan elementar zarrachalarni o'rganishda, yuqori 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 tezlatgich, siklotron va hokazo.

Siklotron magnit maydoniga joylashtirilgan, duant deb ataladigan ichi kovak yarim silindrik idish bo'lib, u o'zgaruvchan tok manbaiga ulangan. (8.7-rasm) Zaryadli zarracha duant oralig'iga joylashtirilsa, tezlatuvchi elektr va og'diruvchi magnit kuchlari ta'sirida bir necha MeV, GeV energiya olguncha tezlashtiriladi. Bunday zarrachalar yadro reaksiyalarini hosil qilishda ishlatiladi.

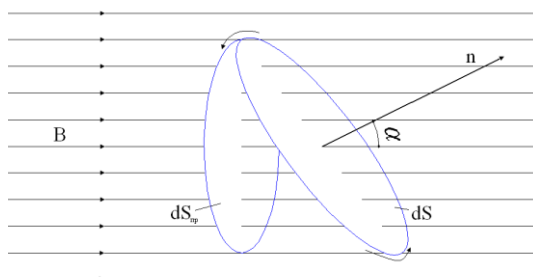


8.7- rasm

Magnit oqimi. Gauss teoremasi

Magnit maydonini xarakterlashda magnit induksiya vektori bilan bir qatorda magnit oqimi tushunchasidan foydalaniladi.

Bir jinsli magnit maydonida joylashgan. dS -yuza orqali o'tayotgan magnit induksiya vektoriga son jihatidan teng kattalik magnit oqimi deb yuritiladi. (8.8-rasm)



8.8-rasm

$$d\Phi_B = \oint_S \vec{B} dS \cos \alpha \quad (8.19)$$

8.8-rasmdan, $B \cos \alpha = B_n$ deb belgilab,

$$d\Phi_B = B_n dS \quad (8.20)$$

Agar birlik normal vektor ($\vec{n}$) magnit induksiya vektori ($\vec{B}$) bilan o'tmas burchak hosil qilsa, ($\alpha > \pi/2$) $d\Phi_B < 0$ manfiy, aksincha $\alpha < \pi/2$ bo'lsa, $d\Phi_B > 0$ musbat hisoblanadi.

Bir jinsli bo'lmagan magnit maydonida joylashgan berk sirt orqali o'tayotgan magnit oqimini hisoblaymiz, buning uchun sirtni shunday elementar bo'lakchalarga ajratamizki, uning har bir elementi uchun maydon bir jinsli deb hisoblanishi mumkin bo'lsin. U holda (2)-ni har bir elementar bo'lakcha uchun yozib, integrallaymiz.

$$\Phi_B = \oint_S B_n dS \quad (8.21)$$

(8.21) ixtiyoriy sirt bo'yicha magnit maydon induksiya vektorining oqimini ifodalaydi.

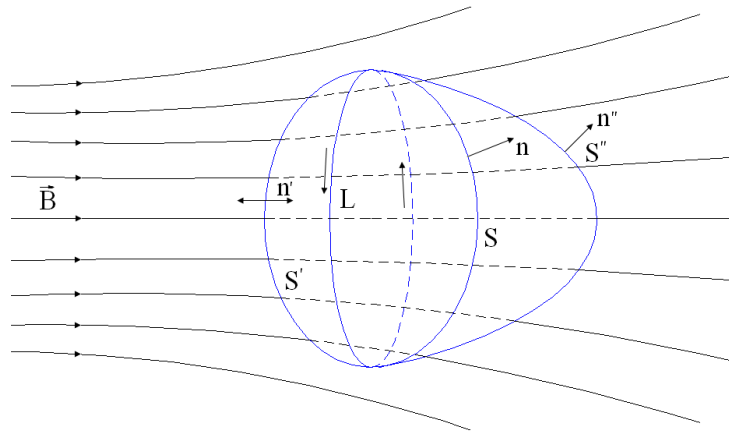
Xalqaro birliklar sistemasida magnit oqimi birligi qilib 1 Veber qabul qilingan.

$$1 \text{ B6} = 1 \text{ T} \cdot \text{m}^2$$

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 musbat magnit oqimi hosil qiladi. Shuning uchun, berk sirt bo'yicha to'la oqim nolga teng:

$$\oint_S B_n dS = 0 \quad (8.22)$$

(8.22) magnit induksiyasi oqimi uchun Gauss teoremasining ifodasidir.



8.9-rasm

L – kontur orqali magnit induksiya chiziqlari qancha o'tsa, S, S^1 va S^{11} -sirtlar orqali ham shuncha chiziqlar o'tadi: (8.9-rasm)

$$\oint_S B_n dS = \oint_S B_n dS = \oint_{S^1} B_n dS + \oint_{S^{11}} B_n dS \quad (8.23)$$

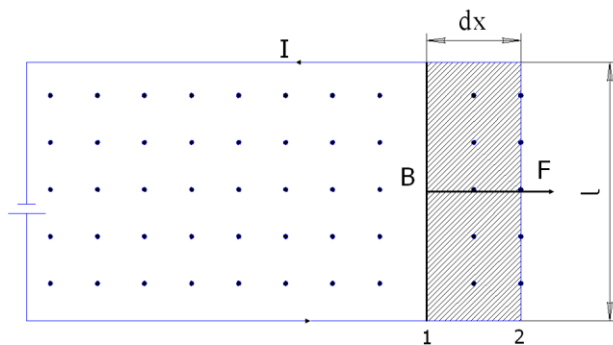
S^1 -ga o'tkazilgan tashqi normal magnit maydon induksiya vektoriga qarama-qarshi yo'nalganligi tufayli magnit oqimi manfiy bo'ladi, buni hisobga olib, to'la oqim uchun:

$$\oint_{S^1+S^{11}} B_n dS = \oint_{S^1} B_n dS + \oint_{S^{11}} B_n dS = 0 \quad (8.24)$$

Bundan, har qanday berk sirt uchun magnit oqimi nolga teng degan xulosa chiqadi

Magnit maydonida tokli o'tkazgichni ko'chirishda bajarilgan ish.

Magnit maydon induksiya vektoriga perpendikulyar bo'lgan va magnit oson ko'chadigan tok elementini kuzatamiz. (8.10-rasm)



8.10-rasm

Ma'lumki, magnit maydonidagi tokli o'tkazgichga Amper kuchi ta'sir etadi:

$$F_A = I \cdot Bdl \quad (8.25)$$

Bu kuch tokli o'tkazgichning dl-elementini magnit maydonda ko'chirib ish bajaradi:

$$dA = F_A \cdot dx \quad \text{yoki} \quad dA = IBdl \cdot dx \quad (8.26)$$

$dl \cdot dx = dS$ kontur o'rab turgan yuzaning o'zgarishini ifodalaydi.

$B \cdot dS = d\Phi_B$ magnit oqimining kontur yuzasi orqali o'zgarishini hisobga olib:

$$dA = IBdS = Id\Phi_B \quad (8.27)$$

Magnit maydonida tokli o'tkazgichni ko'chirishda bajarilgan ish magnit oqimining o'zgarishiga proporsionaldir. Bu xulosani istalgan tokli kontur uchun umumlashtirish mumkin (8.11-rasm).

Endi magnit maydonida berk konturni ko'chirishda bajarilgan ishni hisoblaymiz. Konturni tutashgan ABC va CDA bo'laklardan tashkil topgan deb tasavvur qilib, to'la bajarilgan ishni ifodalaymiz.

$$dA = dA_1 + dA_2$$

dA_1 -konturning ABC qismini ko'chirishda bajarilgan ish bo'lib, u manfiy ishoraga ega, chunki konturning bu qismiga ta'sir etuvchi kuch harakat yo'nalishi bilan o'tmas burchak hosil qiladi.

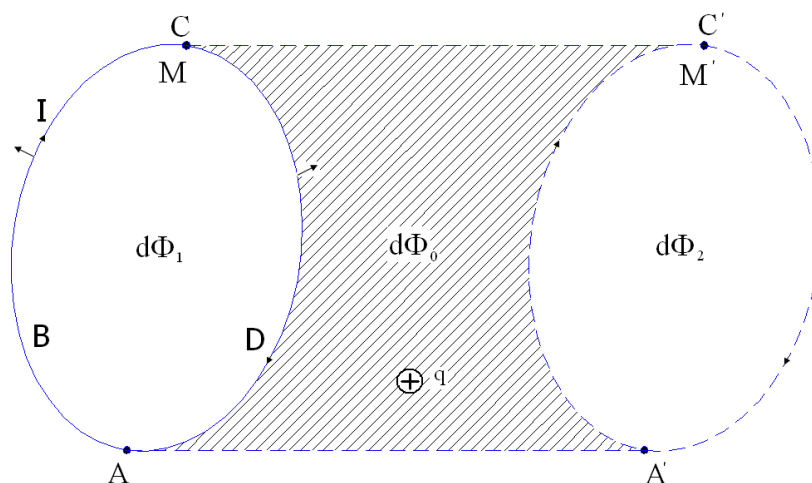
$$dA_1 = -I(d\Phi_0 + d\Phi_1)$$

$$dA_2 = -I(d\Phi_0 + d\Phi_2)$$

Shunday qilib, magnit maydonida berk konturni ko'chirishda bajarilgan ish, kontur yuzasi orqali magnit oqimining o'zgarishiga proporsionaldir

$$dA = Id\Phi^1 \quad (8.28)$$

bu yerda $d\Phi^1 = d\Phi_2 - d\Phi_1$ -kontur orqali o'tayotgan magnit oqimining o'zgarishini bildiradi.



8.11-rasm

Nazorat savollari

1. Magnit strelkasi (ignasi)dan foydalanib o'zgaras tok manbai qutblarining ishorasini aniqlash mumkinmi? Qanday?
2. Tokli ramkaning magnit momenti nimaga teng? Uning yo'nalishini aniqlang?
3. Magnit maydon induktsiyasini ta'riflang? B vektorining yo'nalishini qanday aniqlashadi?
4. Bio-Savar-Laplas qonuni yozib, uning fizik ma'nosini tushuntiring?
5. Amper qonunini va uning asosida o'zaro parallel ikki tokning ta'sirlashuvini tushuntiring?
6. Nima sababdan harakatlanayotgan zaryad o'zining magnit xususiyatlari bilan tok elementiga ekvivalent bo'ladi?
7. Protonning magnit maydondagi harakatida Lorents kuchi bajaradigan ish nimaga teng?
8. B magnit induktsiya vektorining tsirkulsiyasi nimadan iborat?
9. Magnit maydon uchun Gauss teoremasini yozing va uning fizik mohiyatini tushuntiring?

9-ma'ruza. ELEKTROMAGNIT INDUKSIYA HODISASI

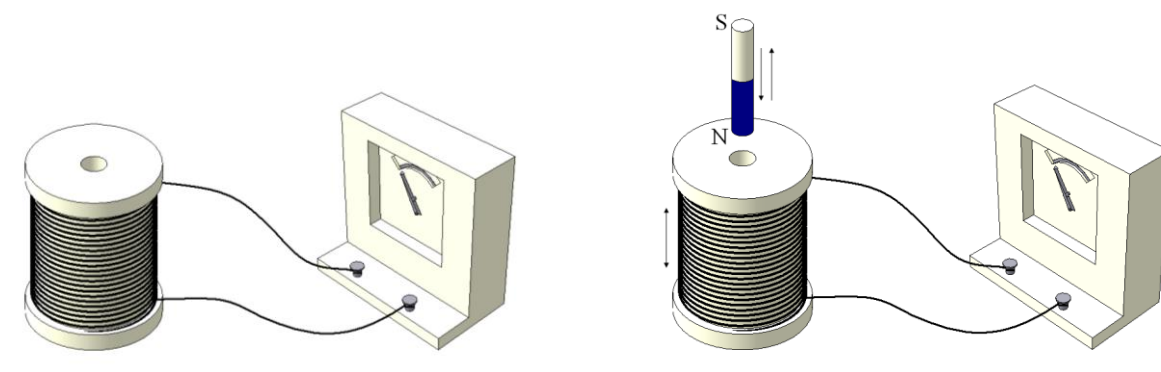
Reja

1. Faradey tajribalari. Faradey qonunlari.
2. Elektromagnit induksiya qonuni.
3. Lens qoidasi. O'zinduksiya hodisasi. Induktivlik. O'zaro induksiya.
4. Transformatorlar.
5. Magnit maydon energiyasi. Magnit maydon energiyasi zichligi..

Elektromagnit induksiya hodisasi

Faradey elektr va magnit hodisalarini o'zaro chambarchas bog'liq deb hisoblab, magnit maydonining elektr ta'sirini o'rganish bo'yicha juda ko'p tajribalar o'tkazdi. Yillar davomida qunt bilan o'tkazilgan tajribalar natijasida 1831 yil elektromagnit induksiya hodisasini kashf etdi. Har qanday o'tkazuvchan berk konturda u o'rab turgan sirt orqali o'tayotgan magnit oqimi o'zgarganda, shu konturda tok hosil bo'lishini aniqladi. Bu hodisa elektromagnit induksiya hodisasi, tok esa induksion tok deb yuritiladi.

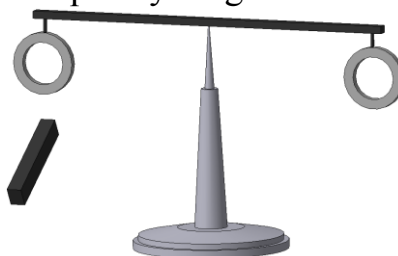
Doimiy magnit tayoqcha galvanometrغا ulangan g'altak ichiga kiritilishi va chiqarilishida konturda induksion tok hosil bo'ladi (9.1-rasm).



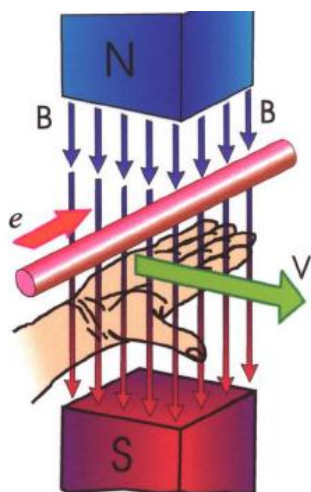
9.1-rasm

Demak, magnit oqimining o'zgarishi konturda tok hosil qiladi. Tajribalar ko'rsatishicha, induksion tokning kattaligi magnit oqimiga emas, balki magnit oqimining o'zgarish tezligi va ishorasiga proporsional bo'lib, uni qanday yo'l bilan o'zgartirishga bog'liq emas.

Lents (1833 y.) induksion tok yo'nalishini aniqlashga imkon beruvchi tajribani amalga oshirdi. Agar doimiy magnit qutblaridan biri berk halqaga yaqinlashtirilsa, halqada induksion tok hosil bo'lib, bu tokning magnit maydoni doimiy magnit maydonini kompensatsiyalaydi, sistema muvozanat vaziyatidan og'adi. Magnit qutbi ochiq halqaga yaqinlashtirilsa, hech qanday o'zgarish kuzatilmaydi. (9.2-rasm)



9.2-rasm



Tajriba natijalarini umumlashtirib, induksion tok shunday yo'nalgan deyish mumkinki, uni hosil qilgan magnit maydon induksiyasi, induksion tokni vujudga keltirayotgan magnit induksiyasini hamma vaqt kompensatsiyalaydi. Yopiq konturda induksion tok shunday yo'nalganki, u o'zining magnit maydoni bilan uni hosil qiluvchi magnit maydon o'zgarishiga qarshilik ko'rsatadi. Amalda induksion tok yo'nalishini aniqlash uchun ma'lum qoida ishlab chiqilgan. U *o'ng qo'l qoidasi* deb yuritiladi. O'ng qo'l kaftiga magnit induksiya chiziqlari kiradigan qilib joylashtirilsa, bosh barmoq o'tkazgich harakati yo'nalishini ko'rsatib, to'rttala barmoq induksion tok yo'nalishini ko'rsatadi.

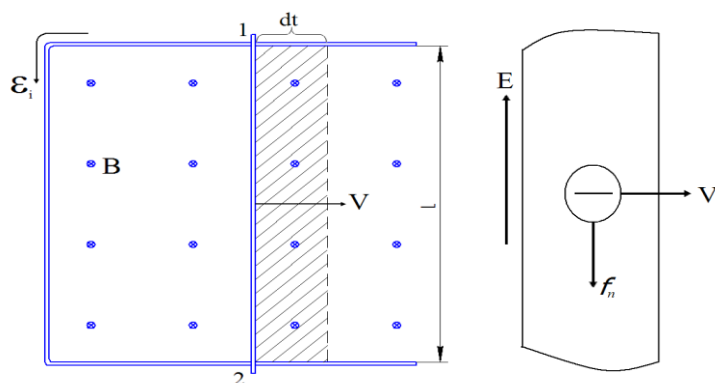
Induksiya elektr yurituvchi kuch.

Faradey tajribalaridan ma'lumki, magnit oqimining o'zgarishi konturda tokni induksiyalaydi. Demak, konturda induksiya elektr yurituvchi kuch (E.Yu.K.) hosil bo'ladi. Hosil bo'lgan E.Yu.K. magnit oqimining o'zgarish tezligiga proporsionaldir. $\varepsilon_s = d\Phi/dt$. Bu bog'lanishni ifodalash uchun bir jinsli magnit maydonida berk konturning dl elementini v -tezlik bilan ko'chirilishini kuzatamiz. (9.3-rasm) Magnit maydonida konturning dl elementi, shuningdek uning tarkibidagi zaryadli zarrachalar ham shu tezlik bilan ko'chadi. Ularga Lorens kuchi ta'sir etishi tufayli

$$\vec{F}_n = e\vec{v}B \quad (9.1)$$

$$\vec{F}_o = q\vec{E} = e\vec{E} \quad (9.2)$$

$$\vec{F}_A = \vec{F}$$



9.3-rasm

kuclanganligi $\vec{E} = v\vec{B}$ -ga ekvevalent noelektrostatik maydon hosil bo'ladi. Bu maydon kuchlanganligining kontur bo'yicha sirkulyatsiyasi induksiya E.Yu.K.ni hosil qiladi:

$$\varepsilon_s = \oint_L E_1 dl = \oint_L vBdl \cdot \frac{dt}{dt} \quad (9.3)$$

(9.3) dagi kontur yuzining o'zgarishini $v \cdot dl \cdot dt = dS$ hisobga olib,

$$\varepsilon_s = \oint \left(\frac{BdS}{dt} \right) \quad (9.4)$$

(9.4) dagi $BdS = d\Phi_B$ -magnit oqimining o'zgarishini bildiradi.

$$\varepsilon_s = -\frac{d\Phi}{dt}; \quad 1B = 1 \text{ B}\cdot\text{m}^2/\text{sek} \quad \text{yoki} \quad \varepsilon_s = -\frac{1}{dt} \oint B dS \quad (9.5)$$

Agar, $\frac{d\Phi}{dt} > 0$ bo'lsa, induksiya E.Yu.K. konturni aylanish yo'nalishiga teskari yo'nalishda ta'sir etadi va aksincha.

O'zinduksiya hodisasi

Istalgan berk konturdan o'tayotgan o'zgaruvchan tok shu kontur bilan chegaralangan sirtini kesib o'tuvchi o'zgaruvchan magnit induksiya oqimini hosil qiladi. Natijada shu konturda tok induksiyalanadi. Shunday qilib, tokning o'zgarishi tufayli shu konturning o'zida induksion E.Yu.K. ning hosil bo'lish hodisasiga o'zinduksiya hodisasi deb yuritiladi.

Magnit oqimi (Φ) magnit induksiyasi (B) va tok kuchi (I)ga to'g'ri proporsionaldir.

$$\Phi = B \cdot I \text{ yoki } \Phi = LI \quad (9.7)$$

$I=1A$ bo'lganda, berilgan kontur bo'yicha magnit oqimi qanchaga o'zgarishini ko'rsatadigan L -kattalik konturning induktivligi deyiladi. Ma'lumki, solenoid maydoni induksiyasi

$$B = \mu\mu_0 nI \quad (9.8)$$

Har bir o'ram orqali o'tgan oqim $\Phi^1 = BS$ bo'lsa, to'la oqim:

$$\Phi = N\Phi^1 = N\mu\mu_0 n \cdot IS \quad (9.9)$$

uzunlik birligidagi o'ramlar soni $n = \frac{N}{l}$ -dan foydalanib:

$$\Phi = \mu\mu_0 \frac{N^2}{l} \cdot SI \quad (9.10)$$

(9.10) ni (9.7) bilan taqqoslab, induktivlik uchun:

$$L = \mu\mu_0 \frac{N^2}{l} \cdot S \quad (9.11)$$

(9.11) ni hisobga olib induksiya E.Yu.K.

$$\varepsilon_s = -\frac{d\Phi}{dt} = -L \frac{dI}{dt} \quad (9.12)$$

(9.12) dan:

$$L = \frac{\varepsilon_s \cdot dt}{dI} \quad (9.13)$$

Induktivlik birligi qilib, 1 Genri qabul qilingan.

$$1Gn = 1 \frac{V \cdot \text{sek}}{A}$$

Tok kuchi 1 sekundda 1 A ga o'zgarganda uchlarida 1B induksiya E.Yu.K. hosil qiladigan g'altakning induktivligi 1 Genri bo'ladi.

O'zaro induksiya hodisasi.

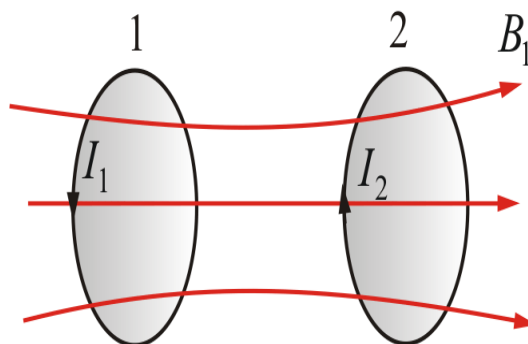
Bir-biriga yaqin joylashgan ikkita qo'zg'almas konturni kuzatamiz (9.4-rasm). Agar konturlardan biridagi tok I_1 , ikkinchi kontur qamrab olgan sirt orqali hosil qilgan magnit oqimi Φ_{21} -deb belgilansa,

$$\Phi_{21} = L_{21} I_1 \quad (9.14)$$

bu yerda, L_{21} -proporsionallik koeffitsienti.

Faradey qonuniga muvofiq I_1 -ning o'zgarishi ikkinchi konturda E.Yu.K. hosil qiladi:

$$\varepsilon_{12} = -\frac{d\Phi_{21}}{dt} = -L_{21} \frac{dI_1}{dt} \quad (9.15)$$



9.4-rasm

Xuddi shuningdek, ikkinchi konturdagi tok I_2 – birinchi kontur qamrab olgan sirt orqali

$$\Phi_{12} = L_{12} I_2 \quad (9.16)$$

magnit oqimini hosil qiladi.

Agar ikkinchi konturdagi tok o'zgaruvchan bo'lsa, birinchi konturda hosil bo'lgan induksiya E.Yu.K. Φ_{12} -ning o'zgarish tezligiga proporsional bo'ladi.

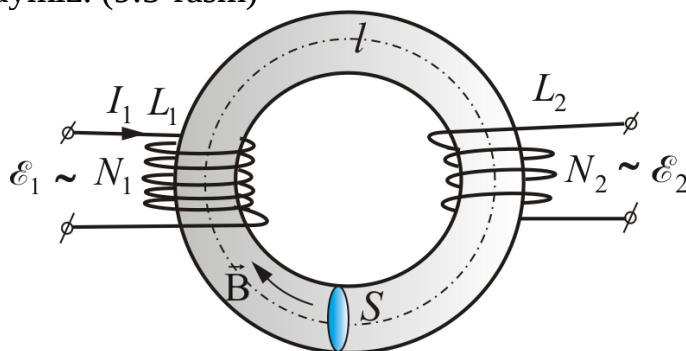
$$\varepsilon_n = -\frac{d\Phi_{12}}{dt} = -L_{12} \frac{dI_2}{dt} \quad (9.17)$$

Konturlardan birida tok kuchining o'zgarishi, ikkinchisida induksiya E.Yu.K.-ni vujudga keltirishi o'zaro induksiya hodisasi deb yuritiladi.

Tajribalar ko'rsatishicha, o'zaro induktivlik koeffitsiyentlari bir-biriga teng bo'ladi:

$$L_{12} = L_{21}$$

Umumiy o'zakka kiritilgan ikkita g'altakning o'zaro induktivlik koeffitsiyentini hisoblaymiz. (9.5-rasm)



9.5-rasm

Birinchi g'altakning magnit induksiyasi:

$$B = \mu\mu_0 \frac{n_1 I_1}{l}$$

bu yerda, μ - o'zak moddasining magnit doimiysi

n_1 - o'ramlar soni

Ikkinchi g'altakning bitta o'rami orqali o'tgan magnit oqimi

$$\Phi_2 = BS = \mu\mu_0 \frac{I_1 n_1}{l} \cdot S \quad (9.18)$$

to'la oqim

$$\Phi = \Phi_2 n_2 = \mu\mu_0 \frac{n_1 n_2 I_1}{l} \cdot S \quad (9.19)$$

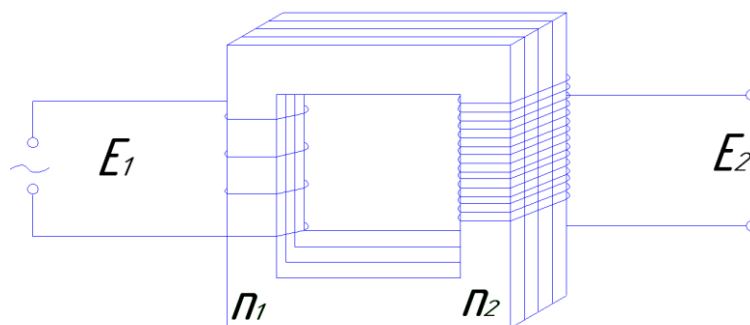
o'zaro induktivlik koeffitsiyenti:

$$L_{21} = \frac{\Phi}{I_1} = \mu\mu_0 \frac{n_1 n_2}{l} \cdot S \quad (9.20)$$

Xuddi shu usul bilan birinchi g'altakning o'zaro induktivlik koeffitsiyentini ham (9.21) ifodaga teng ekanligini isbotlash mumkin.

$$L_{12} = \frac{\Phi}{I_2} = \mu\mu_0 \frac{n_1 n_2}{l} \cdot S \quad (9.21)$$

O'zaro induktivlik hodisasidan olis masofalarga elektr energiyasini uzatish moslamalari (transformatorlar) tayyorlashda foydalaniladi. Transformatorlar ramka shaklidagi o'zakka kiritilgan ikkita n_1 va n_2 o'ramli g'altakdan iborat bo'ladi. (9.6-rasm)



9.6-rasm

Agar transformatorning birlamchi cho'lg'ami o'zgaruvchan tok manbaiga ulansa, undan I_1 -tok o'tib, o'zgaruvchan magnit oqimi hosil qiladi. Bu o'zgaruvchan magnit oqimi ikkilamchi cho'lg'am o'ramlarini kesib o'tib, o'zaro induksiya E.Yu.K., birlamchi cho'lg'amida esa o'zinduksiya E.Yu.K. hosil qiladi. Om qonuniga muvofiq birlamchi cho'lg'amdagi tok kuchi tashqi va induksiya E.Yu.K.ning algebraik yig'indisi orqali aniqlanadi:

$$\varepsilon_1 = -\frac{d}{dt}(n_1 \Phi) = I_1 R_1 \quad (9.22)$$

bu yerda, R_1 -birlamchi cho'lg'am qarshiligi bo'lib, tez o'zgaruvchan maydon uchun kichik miqdor bo'lib hisoblanadi. Shu tufayli

$$\varepsilon_1 \approx n_1 \frac{d\Phi}{dt} \quad (9.23)$$

ikkinchi cho'lg'amdagi induksiya E.Yu.K.

$$\varepsilon_{12} = -\frac{d(n_2 \Phi)}{dt} = -n_2 \frac{d\Phi}{dt} \quad \varepsilon_2 = -\frac{n_2}{n_1} \varepsilon_1 \quad (9.24)$$

(9.24) dagi minus ishora birlamchi va ikkilamchi cho'lg'andagi toklar faza jihatidan qarama-qarshi ekanligini bildiradi.

$\frac{n_2}{n_1}$ -nisbat transformatsiyalash koeffitsiyenti deb yuritiladi.

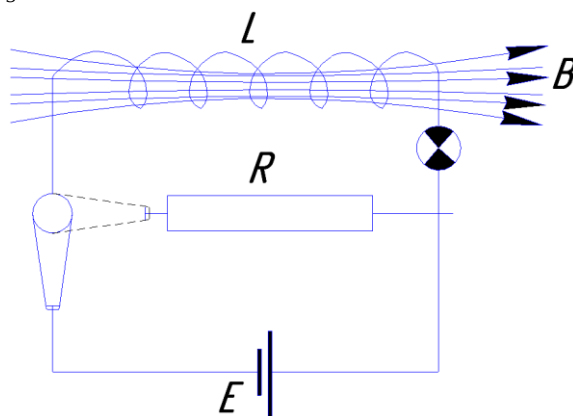
Agar, $\frac{n_2}{n_1} > 1$ bo'lsa, transformator yuksaltiruvchi, aksincha bo'lsa $\frac{n_2}{n_1} < 1$ pasaytiruvchi bo'ladi.

Magnit maydon energiyasi. Energiya zichligi.

Agar induktivligi L bo'lgan solenoid, cho'g'lanma lampa va qarshilikdan iborat zanjir tok manbaiga ulansa, solenoid o'ramlarida magnit maydoni hosil bo'lib, lampa ravshan yonadi. (9.7-rasm) Zanjirni batareyadan uzganda lampa birdan o'chmaydi, unda o'zinduksiya tufayli sekin-asta kamayib boruvchi induksion tok hosil bo'ladi. Bu tok hosil qilgan magnit maydon energiyasi zanjir elementlarining ichki issiqlik energiyasini oshirishga sarflanadi.

Ichki energiyani oshirish uchun sarflangan energiya bajargan ish orqali ifodalanadi:

$$dA = \varepsilon_s Idt \quad (9.25)$$



9.7-rasm

Bu yerda, ε_s -induksiya E.Yu.K. $\varepsilon_s = -d\Phi/dt$; $dA = -\frac{d\Phi}{dt} Idt$ oxirgi ifodadagi magnit oqimining o'zgarishini hisobga olib:

$$dA = -LI dI \quad (9.26)$$

(9.26) ni integrallab:

$$A = -\int_0^I LI dI; \quad \text{yoki} \quad A = \frac{LI^2}{2} \quad (9.27)$$

Shunday qilib, magnit maydoni ham boshqa maydonlar kabi energiyaga ega. Shu energiya hisobiga maydon kuchlari ekvivalent miqdorda ish bajaradi.

$$A = W = \frac{LI^2}{2} \quad (9.28)$$

Magnit maydoni energiyasini uni bevosita xarakterlovchi kattaliklar orqali ifodalaymiz.

Ma'lumki, g'altakning induktivlik koeffitsiyenti:

$$L = \mu\mu_0 \frac{N^2}{l} \cdot S \frac{l}{l} = \mu\mu_0 \frac{N^2}{e^2} V$$

Uzunlik birligidagi o'ramlar soni $n = \frac{N}{l}$ ni kiritib, (9.28) ni e'tiborga olib, (9.28) va (9.29) lardan magnit maydon energiyasi uchun:

$$L = \mu\mu_0 \frac{n^2 V}{2} \quad (9.29)$$

$$W = \mu\mu_0 \frac{n^2 V}{2} I^2 \quad (9.30)$$

(9.30) da $H = nJ$ -solenoid magnit maydoni kuchlanganligi, $B = \mu\mu_0 \cdot H$ Dn foydalanib,

$$W = \frac{\mu\mu_0 H^2}{2} V \quad \text{yoki} \quad W = \frac{BH}{2} V \quad (9.31)$$

(9.31) magnit maydon energiyasining ifodasidir.

Ba'zan energiya zichligi tushunchasidan ham foydalaniladi. Hajm birligidagi energiya miqdoriga son jihatidan teng kattalik energiyaning hajmiy zichligi deb yuritiladi. Magnit maydoni energiyasining hajmiy zichligi:

$$\omega = \frac{W}{V} = \frac{BH}{2} = \frac{B^2}{2\mu\mu_0} = \frac{\mu\mu_0 H^2}{2} \quad (9.32)$$

Energiya zichligini bilgan holda istalgan nuqtadagi energiya aniqlanishi mumkin.

$$W = \int_V \omega dV = \int_V \frac{\mu\mu_0 H^2}{2} dV = \int_V \frac{B^2}{2\mu\mu_0} dV \quad (9.33)$$

Nazorat savollari

1. Elektromagnit induksiya hodisasining mohiyati nimadan iborat? Faradey tajribalarini tahlil qilib bering?
2. Lents qoidasini ta'riflang va misollar bilan to'ldiring?
3. O'zinduksiya hodisasining mohiyati nimadan iborat? Bunda induksiya EYUK nimaga teng bo'ladi.
4. O'zaro induksiya hodisasini tushuntiring? Bu holdagi induksiya EYUK ni hisoblang?
- Kuchaytiruvchi transformatorlarning birlamchi va ikkilamchi o'ramlaridagi
5. toklarning nisbatini aniqlang?
6. Qachon o'zinduksiya EYUK katta bo'ladi? O'zgarmas tok zanjirini ulagandami? yoki uzgandami?
7. Kontur induktivligining fizik ma'nosi nimadan iborat? U nimaga bog'liq?
8. Elektromagnit maydon energiya zichligi nimaga teng?

10- ma'ruza. MODDADAGI MAGNIT MAYDON

Reja

1. Molekulyar toklar. Magnitlanish vektori.
2. Modda uchun magnetostatikaning asosiy tenglamalari.
3. Magnetiklarning turlari. Diamagnetiklar. Paramagnetiklar. Ferromagnetiklar va ularning xossalari.
4. Gisterezis hodisasi.

Moddalarning magnit maydoni. Magnit maydon kuchlanganligi.

Biz yuqorida vakuumda joylashgan tokli o'tkazgichning magnit maydoni qonunlari bilan tanishdik. Agar tokli o'tkazgich magnit xossasiga ega bo'lgan modda ichiga joylashtirilgan bo'lsa, moddaning magnitlanishi tufayli maydon o'zgaradi. Bu o'zgarishni quyidagi sodda tajribada namoyish qilish mumkin. (10.1 – rasm)

10.1– rasm

Natijaviy maydon induksiyasi uchun:

$$B=B_0+B^1 \quad (10.1)$$

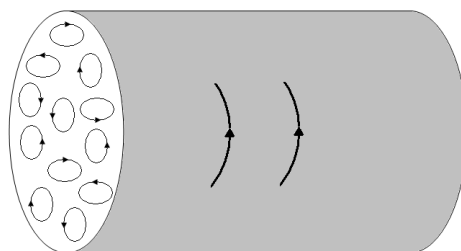
B_0 -tokli o'tkazgich maydonining induksiya vektori.

B^1 -moddaning magnitlanishi tufayli vujudga kelgan magnit maydon induksiya vektori.

Tashqi maydon o'zgarmaganda to'la maydon induksiyasi moddaning magnitlanishiga bo'g'liq.

Moddalarning magnitlanishini tushuntirish uchun Amper molekulyar toklar nazariyasiga asoslandi. Moddaning atom molekulalarida zaryadlarni aylanishi bilan bog'liq molekulyar toklar vujudga keladi. (10.2-rasm) Bu molekulyar toklar magnit momenti:

$$\overline{P_m} = evS \quad (10.2)$$



10.2-rasm

Tashqi maydon bo'lmaganda molekular magnit momentlari vektori $\overline{P}_m$ tartibsiz yo'nalgan bo'lib, ularning algebraik yig'indisi nolga teng bo'ladi: $\sum \overline{P}_{mi} = 0$ ya'ni magnit maydoni vujudga kelmaydi.

Tashqi maydonda molekular magnit momentlari biror ustivor yo'nalishda tartiblanib, induksiya noldan farqli bo'lgan B^1 magnitlanish hosil qiladi.

Magnit induksiya vektorining serkulyatsiyasiga ko'ra:

$$\oint_L B_l dl = \oint_L (B_l + B^1) dl = \oint_L B_l dl + \oint_L B_l^1 dl \quad (10.3)$$

Har qanday berk kontur bo'yicha magnit induksiya vektorining serkulyatsiyasi, shu kontur o'rab olgan o'tkazuvchanlik va molekulyar toklarning algebraik yig'indisiga teng. Bu xulosa magnit maydon induksiya vektori uchun to'la toklar qonuni deb yuritiladi va quyidagicha ifodalanadi:

$$\oint_L B_l dl = \sum \mu_0 I_v + \sum \mu_0 I_m \quad (10.4)$$

Molekulyar toklarni bevosita o'lchab bo'lmaganligi tufayli ularni magnitlanish vektori orqali aniqlanadi. *Magnitlanish vektori deb moddaning hajm birligidagi magnit momentlarining algebraik yig'indisi son jihatidan teng kattalikka aytiladi:*

$$J = \frac{\sum \overline{P}_m}{V} \quad [A/m] \quad (10.5)$$

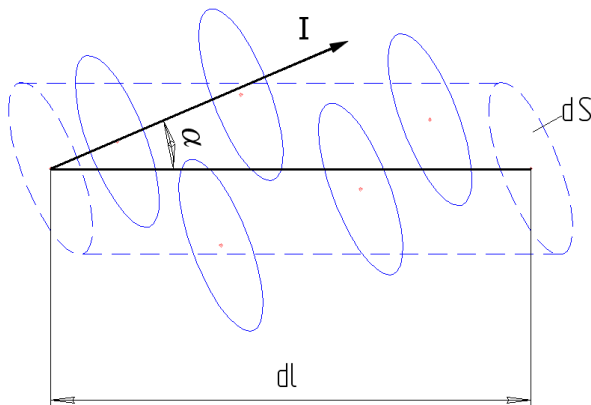
Magnitlanish vektori bilan o'qi α -burchak tashkil etgan dl uzunlikdagi, dS -kesim yuziga ega silindrik moddada n -ta molekula bor deb hisoblaymiz. (10.3-rasm) U holda molekulyar toklarning algebraik yig'indisi uchun:

$$\sum I_m = \oint n e v d s s l \cos \alpha$$

$$\overline{P}_m = e v d S$$

$$\sum I_m = \oint P_m n d l \cos \alpha$$

$$\bar{I} = \overline{P}_m \cos \alpha \text{ ni e'tiborga olib:}$$



10.3-rasm

$$\sum I_m = \oint I_l dl \quad (10.6)$$

(10.6) ni hisobga olib (10.4) ni quyidagicha ifodalaymiz.

$$\oint \left(\frac{\overline{B}}{\mu_0} - \bar{J} \right) dl = \sum I_y \quad (10.7)$$

(10.7) dagi ayirma $\bar{H}$ – bilan belgilanadi va u magnit maydon kuchlanganligi deb yuritiladi.

$$\oint \left(\frac{\bar{B}}{\mu_0} - \bar{J} \right) = \bar{H} \quad (10.8)$$

(10.8) ni hisobga olib (10.7) ni soddaroq ko'rinishda yozish mumkin.

$$\oint_L H_l dl = \sum I_v \quad \text{yoki} \quad \oint_L \bar{H}_l dl = \oint_S \bar{j} dS \quad (10.9)$$

(10.9) ifoda elektrodinamikaning asosiy tenglamalaridan biri bo'lib hisoblanadi.

Vakuumba magnitlanish nolga teng bo'lgani uchun, (10.8) dan:

$$\bar{H} = \frac{\bar{B}}{\mu_0} \quad \text{yoki} \quad \bar{B} = \mu_0 \cdot \bar{H} \quad (10.10)$$

ni hosil qilamiz.

(10.10)ga to'g'ri tokli o'tkazgichning maydon induksiyasi ifodasini qo'llab to'g'ri tokli o'tkazgichdan b – o'zoqlikdagi nuqtaning magnit maydon kuchlanganligi uchun (10.11) ni hosil qilamiz.

$$H = \frac{I}{2\pi b} \quad (10.11)$$

Agar (10.10) ga doiraviy tokli o'tkazgich magnit maydoni induksiyasi ifodasini qo'ysak, doiraviy tok markazida magnit maydon kuchlanganligi kelib chiqadi.

$$H = \frac{I}{2\pi b} \quad (10.12)$$

Odatda magnitlanish vektorini moddaning magnit maydon induksiyasi orqali emas, balki magnit maydon kuchlanganligi orqali ifodalash qabul qilingan.

$$\bar{J} = \chi \bar{H} \quad (10.13)$$

bu yerda, χ – moddaning magnit kirituvchanligi. Magnit kirituvchanlik moddaning tabiati va temperaturasiga bog'liq bo'lgan o'zgarmas kattalikdir.

(10.13) ga asosan, (10.8) quyidagi ko'rinishni oladi.

$$H = \frac{B}{\mu_0} - \chi H \quad \text{yoki} \quad H(1 + \chi) = \frac{B}{\mu_0} \quad (10.14)$$

$\mu = (1 + \chi)\mu_0$ - moddaning magnit doimiysi. Buni hisobga olib:

$$\bar{H} = -\frac{B}{\mu\mu_0} \quad \text{yoki} \quad \bar{B} = \mu\mu_0 \bar{H} \quad (10.15)$$

Agar vakuumda magnit maydon induksiyasini B_0 -deb belgilasak $\mu = \frac{B}{B_0}$ nisbat

moddalarda magnit maydon induksiyasi 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. Moddalar magnitlanishining yo'qolishi kuzatilgan Kyuri nuqtasi deb ataladi.

Magnetiklar. Gisterezis hodisasi.

Biz yuqorida moddalarning magnitlanishini hamda magnit momenti hosil qilishini kuzatdik. Moddalarning magnit xossalari magnitlanish vektorini ($\bar{J}$) va magnit singdiruvchanlikning (χ_m) kabi kattaliklar bilan xarakterlanadi.

Moddalar magnit singdiruvchanlik katta-kichikligi va ishorasiga qarab uch turga bo'linadilar:

1. $\chi < 0$ $\chi_m = 10^{-11} \div 10^{-10} \text{ M}^3 / \text{моль}$ diamagnetiklar

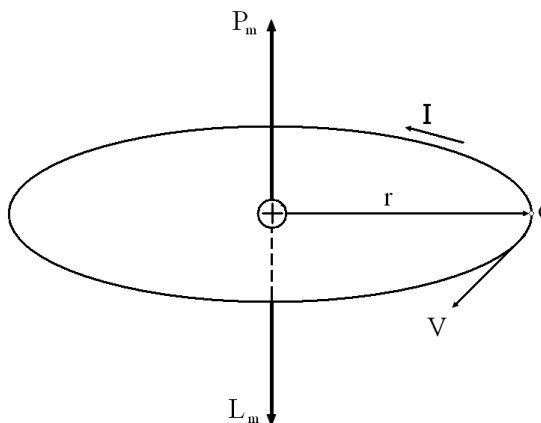
2. $\chi < 0$ $\chi_m = 10^{-10} \div 10^{-9} \text{ M}^3 / \text{моль}$ diamagnetiklar

3. $\chi < 0$ $\chi_m = 1 \div 10 \text{ M}^3 / \text{моль}$ ferromagnetiklar

Amporning molekulyar toklar nazariyasi, moddalarning magnit xususiyatlarini sifat jihatidan tushuntirishga imkon bersada, uning asl ma'nosi, Rezerfordning α -zarrachalar bilan o'tkazgan tajribasi orqali atom yadro modeli kashf etilgandan so'ng aniq bo'ldi. Elektron yadro atrofida aylanib, birlik vaqt ichida $\ell \mathcal{G}$ -zaryad ko'chirib, molekulyar tok hosil qiladi. Bu tokning magnit momenti:

$$\bar{P}_m = ev\pi r^2 \frac{2}{2} = \frac{e\mathcal{G}r}{2} \quad (10.16)$$

bu yerda $\mathcal{G} = 2\pi vr$ -ga teng.



10.4-rasm

$\bar{P}_m = \frac{e\mathcal{G}r}{2}$ -elektronning magnit momenti deb yuritiladi. $\bar{P}_m$ -ning yo'nalishi tok yo'nalishi bilan o'ng vint, tezlik vektori yo'nalishi bilan esa chap vint qoidasiga asosan aniqlanadi. (84-rasm) Orbita bo'ylab harakatlanayotgan elektron harakat miqdori momenti (impuls momenti)ga ega bo'lib, u tok yo'nalishi bilan chap vint qoidasiga binoan aniqlanadi:

$$\bar{L}_m = mvr \quad (10.17)$$

Elementar zarrachalar magnit momentining impuls momentiga nisbati giromagnit nisbat deb yuritiladi. Eynshteyn va de-Xaaslar tajribada giromagnit doimiylikni o'lchashga muvofiq bo'ldilar. Tajriba natijalari $\frac{\bar{P}_m}{\bar{L}_m} = -\frac{e}{m}$ nazariy ma'lumotlardan ikki marta ortiq bo'lib chiqdi. Bu esa elektronni yadro atrofida aylanib, magnit momenti $\bar{P}_m$ -ga ega bo'lishi bilan birga, o'z o'qi atrofida ham aylanib, xususiy magnit momenti $\bar{P}_{ms}$ -ga ham ega bo'ladi degan gipotezani ilgari surishga olib keldi. Shunday qilib, xususiy mexanik va spin momentlari hisobga olinsa, giromagnit nisbat $\frac{e}{m}$ -ga teng bo'lib chiqadi. Ko'p o'tmay bu mulohaza qator muammolarga olib keldiki, olimlar "aylanayotgan elektron" haqidagi gipotezadan

voz kechdilar. Hozirgi vaqtda spin momentiga elektronning massasi, zaryadi kabi tabiiy xossasi sifatida qaraladi.

Tabiatda nafaqat elektron, balki boshqa qator elementar zarrachalar ham spinga egadirlar. Elementar zarrachalar spini $\hbar$ -ga butun son yoki yarim son marta karrali bo'lib, elementar zaryad kabi impuls momentining tabiiy o'lchov birligidir. Elektron uchun impuls momenti:

$$L_{ms} = \pm \frac{1}{2} \cdot \hbar \quad (10.18)$$

$$\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,05 \cdot 10^{-34} \text{ j} \cdot \text{sek}$$

shu tufayli elektronning spini $s = \pm \frac{1}{2}$ -ga teng bo'ladi. Elektronning spin momenti quyidagi ifoda bilan aniqlandi.

$$\bar{P}_{ms} = -\frac{e}{m} \cdot L_s = -\frac{e\hbar}{2m} \quad (10.19)$$

(10.19) bilan aniqlanadigan kattalik Bor magnetoni deb yuritiladi va μ_B bilan belgilanadi.

$$\mu_B = \frac{e\hbar}{2m} = 0,927 \cdot 10^{-23} \text{ J/T} \quad (10.20)$$

Atom va molekullarning magnit momentlari ularning tarkibiga kirgan zarrachalar-elektron, proton va boshqa zarrachalarning orbital va spin momentlari yig'indisi bilan aniqlanadi.

Tashqi magnit maydoni bo'lmaganda ($\sum P_{mi} = 0$), magnit momentlari yig'indisi nolga teng bo'lgan molekullardan tashkil topgan moddalar diamagnetiklar deyiladi. Diamagnetiklarga Cu, Bi, Sb, Ag, Au, Pb, Zn, H₂O, N₂, Co₂ kiradi.

Diamagnit moddalarning atom molekullari magnit momenti:

$$P_m = -\frac{e^2 B}{6m} \sum r_i^2 \quad (10.21)$$

Tashqi magnit maydonida diamagnit modda shunday magnitlanish hosil qiladiki, to'la maydon induksiya uchun:

$$\bar{B} = \bar{B}_0 - \bar{B}^1 \quad (10.22)$$

(10.22) o'rinli bo'ladi.

Shunday qilib, diamagnit moddalar magnit maydon induksiyasini susaytiradi.

Tashqi magnit maydoni bo'lmaganda ham noldan farqli magnitlashga ega bo'lgan atom va molekullardan tashkil topgan moddalar paramagnetiklar deyiladi. Paramagnetiklarga Cr, Mn, Pt, Na, K, Al kabilar kiradi.

Paramagnit moddalar uchun magnitlanish vektori:

$$\bar{J} = \frac{n P_m^2 \bar{B}}{3kT} \quad (10.23)$$

Tashqi magnit maydonida paramagnit moddalarning magnitlanish vektori, magnit induksiya vektori bilan mos tushadi va to'la magnit maydon induksiya kuchayadi:

$$\bar{B} = \bar{B}_0 + \bar{B}^1 \quad (10.24)$$

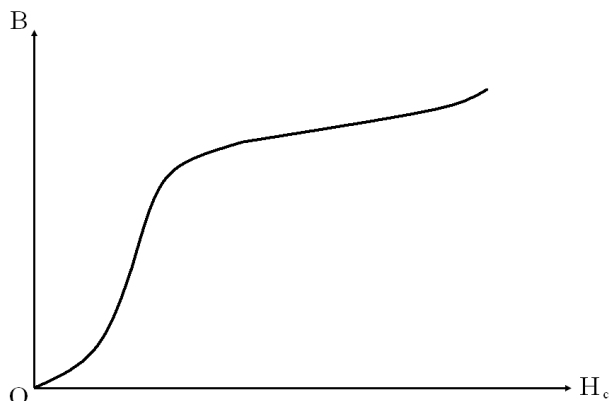
Issiqlik harakati natijasida molekular magnit momentlari tartibsiz yo'naladi. Shuning uchun moddaning magnitlanishi temperaturaning ortishi bilan kamaya borib, ma'lum temperaturada yo'qoladi va bu temperatura Kyuri nuqtasi deb yuritiladi.

$$\chi_{\mu} = \frac{C}{T} \quad (10.25)$$

$$C = \mu_0 \cdot \frac{N_A P_m^2}{3k} \quad (10.26)$$

C-Kyuri doimiysi deb yuritiladi.

Paramagnit moddalar magnitlanishi maydon kuchlanganligiga chiziqli bog'liq bo'lib, u to'yinish xarakteriga egadir; (10.5-rasm)

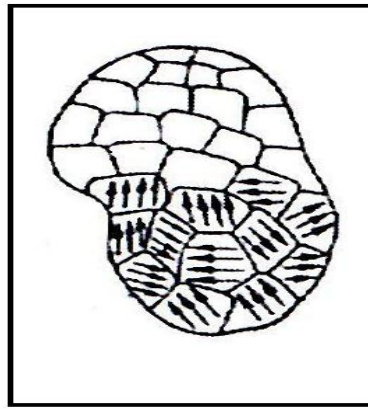


10.5-rasm

Ferromagnitlar. Tashqi magnit maydoni bo'lmaganda ham kuchli magnitlanish qobiliyatiga ega bo'lgan molekulalardan tarkib topgan moddalar ferromagnitlar hisoblanadi. Ferromagnitlarga Fe, Co, Ni, Cd, CrTe, Mn Al Cu kiradi.

Modda	Tarkibi	$\mu_{\max}$	B (Тл)	H_c $\left(\frac{A}{M}\right)$
Temir	99,9% Fe	500 0	-	80
Supermaloy	79% Ni, 5% Mo, 16% Fe	800 000	-	0,3
Aliniko	10% Al, 15% Ni, 18% Co, 53% Fe	-	0,9	52000
Magniko	14% Ni, 24% Co, 8% Al, 3% Cu, 51% Fe	-	1,25	46000
Kolumaks	13% Ni, 24% Co, 8% Al, 3% Cu, 0,7% Te, qolgan qismi Fe	-	1,3	59000

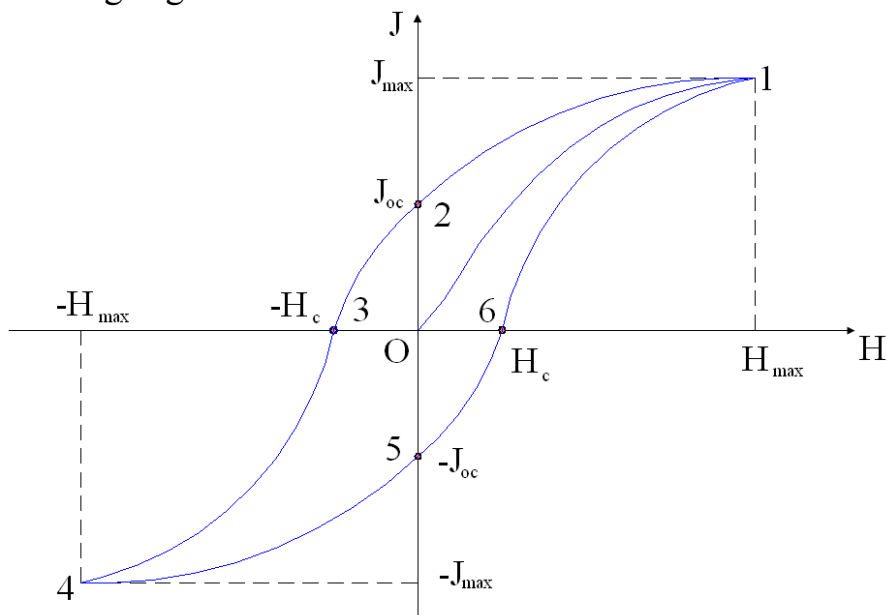
Moddalarning ferromagnit xususiyati kristallar uchun xos bo'lib, ma'lum sharoitda elektronlarining magnit momentlari o'zaro parallel joylashgan elementar hajm "domenlar"-dan tashkil topgan bo'ladi. (86-rasm) Tashqi maydon bo'lmaganda domenlar tartibsiz joylashgan bo'lib, magnit xususiyatini namoyon qilmaydi.



10.6-rasm

Ferromagnitlar tashqi magnit maydonda kuchli magnitlanish hosil qilib, quyidagi xossalarga ega:

1. Odatdagi sharoitda ferromagnit moddalarning magnit kirituvchanligi juda yuqori bo'ladi.
2. Magnitlanish vektori magnit maydon kuchlanganligiga bog'liq holda o'zgarib, u gisterezis hodisasi orqali tushuntiriladi: Magnitlanish dastlab maydon kuchlanganligiga proporsional ravishda chiziqli ortsa to'yinish darajasidan so'ng qoldiq magnitlanishga ega bo'ladi.



10.7-rasm

3. Ferromagnit moddalarning magnitlanishi maydon kuchlanganligining chiziqli bo'lmagan funksiyasi bo'lib, paramagnitlarga nisbatan 10^3 -marta katta.

4. Ferromagnit moddalar uchun temperaturaning shunday ma'lum intervali mavjudki, undan yuqori temperaturalarda ferromagnitlik xususiyati yo'qoladi. (Temir uchun Kyuri temperaturasi 768°C kobalt uchun esa 1075°C)

$$T_{Fe} = 768^\circ\text{C}, \quad T_{Co} = 1075^\circ\text{C}$$

Gisterezis halqasi har xil ferromagnitlar uchun turlicha bo'lib, *konservativ kuchi* bo'lganlari qattiq ferromagnitlar deyiladi va ulardan doimiy magnitlar yasashda foydalanadi.

Konservativ kuchi kichik bo'lgan moddalar yumshoq ferromagnitlar deyiladi va ulardan transformator o'zaklari yasashda foydalaniladi.

Nazorat savollar

1. Magnitlanish vektori va uning fizik ma'nosi tushunting.
2. Magnitlanish vektorining sirkulyasiyasi nimaga teng bo'ladi?
3. Magnit maydon kuchlanganlik vektorining xossalarini aytib bering.
4. Diamagnetiklar va paramagnetiklarning magnit xossalarida qanday farqlar bor.
5. Magnit maydon induksiya vektori bilan magnit maydon kuchlanganlik vektorlari orasidagi qanday bog'lanish borligini yozib bering.
6. Kyuri qonunini nimani izohlaydi?
7. Gisterezis sirtmog'i mohiyatini tushuntiring.

11-ma'ruza. ELEKTROMAGNIT TO'LQINLAR. NISBIYLIK NAZARIYASI

Reja

1. Maksvell tenglamalari.
2. Elektromagnit induksiya hodisasining Faradey-Maksvell talqini. Siljish toki.
3. Uyurmaviy elektr maydon. Maksvell tenglamalari tizimining integral va differensial ko'rinishi.
4. Elektromagnit maydon. Elektromagnit to'lqinlar. Elektromagnit to'lqinlarning tarqalish tezligi. Elektromagnit to'lqin tenglamasi.
5. Elektromagnit maydon energiya zichligi va energiya oqimining zichligi

Tebranuvchi zaryadli zarracha yoki dipol yordamida o'zgaruvchan elektromagnit maydon hosil qilinsa, u holda fazoda elektr va magnit maydonlarining almashinib o'zgarishlari va tarqalishini kuzatish mumkin.

Elektr va magnit maydonining davriy o'zgarishini fazoda chekli tezlik bilan tarqalishidan iborat jarayonga elektromagnit to'lqinlar deb ataladi. Elektromagnit to'lqinlar tenglamasi Maksvell tenglamalari sistemasidan keltirib chiqariladi. Dielektrik va magnit singdiruvchanligi o'zgarmas $\mu = \text{const}$ bo'lgan bir jinsli muhitda tarqalayotgan yassi elektromagnit to'lqinlarni kuzatamiz.

Agar elektromagnit to'lqin X-o'qi bo'yicha tarqalayotgan bo'lsa, $E_y = E_z = 0$ va $H_x = H_y = 0$. Yuqoridagi shartlarni hisobga olib:

$$\begin{aligned}\bar{E}_y &= \frac{\bar{D}_y}{\epsilon_0}; \\ \bar{B}_z &= \mu\mu_0 \bar{H}_z\end{aligned}$$

Maksvell tenglamasidan foydalanib,

$$\frac{\partial E_y}{\partial x} = -\mu\mu_0 \frac{\partial H_z}{\partial t}; \quad \frac{\partial H_z}{\partial x} = -\epsilon_0 \frac{\partial E_y}{\partial t} \quad (11.1)$$

(11.1) tenglamani differensiallab va almashtirishlar kiritib:

$$\begin{aligned}\frac{\partial}{\partial x} \cdot \frac{\partial H_z}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial t} \cdot \frac{\partial H_z}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial x} \cdot \frac{\partial E_y}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial t} \cdot \frac{\partial E_y}{\partial x} \\ \frac{\partial^2 E_y}{\partial x^2} &= \mu\mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 E_y}{\partial t^2} & & (11.2)\end{aligned}$$

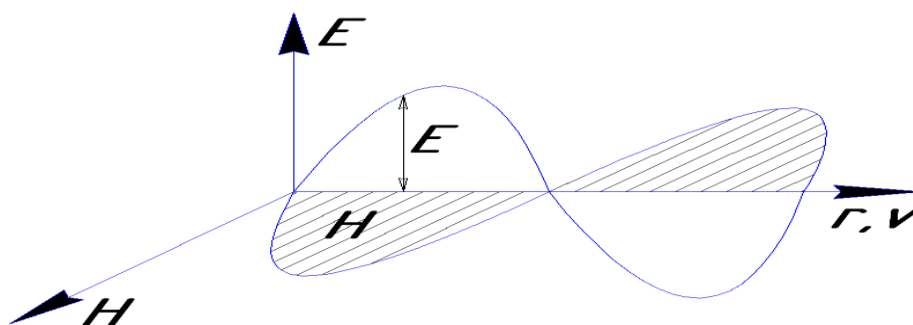
$$\frac{\partial^2 H_z}{\partial x^2} = \mu\mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 H_z}{\partial t^2} \quad (11.3)$$

(11.2) yassi elektromagnit to'lqinlarning differensial tenglamasidir. Bu tenglamalarning yechimi davriy funksiya shaklida bo'lib, quyidagicha ifodalanadi:

$$\left. \begin{aligned}E_y &= E_0 \cos(\omega t - kx + \alpha_1) \\ H_y &= H_0 \cos(\omega t - kx + \alpha_2)\end{aligned} \right\} \quad (11.4)$$

(11.4)- tenglamalar sistemasi elektromagnit to'lqinlarning parametrik tenglamasi deb ataladi. Bu yerda $k = \frac{\omega}{v} = 2\pi / \lambda$ - to'lqin soni

Elektr va magnit maydon kuchlanganlik vektorlari o'zaro perpendikulyar tekisliklarda tebranib tarqaluvchi elektromagnit to'lqinlarni hosil qiladi (11.1-rasm).



11.1-rasm

(11.4) ni differensiallab, (11.2) ga asosan

$$\frac{1}{g^2} = \varepsilon_o \cdot \mu\mu_o \quad (11.5)$$

(11.5) da $\sqrt{\varepsilon_o \mu_o} = \frac{1}{C}$ deb belgilasak, elektromagnit to'rlqlarning tarqalish tezligi

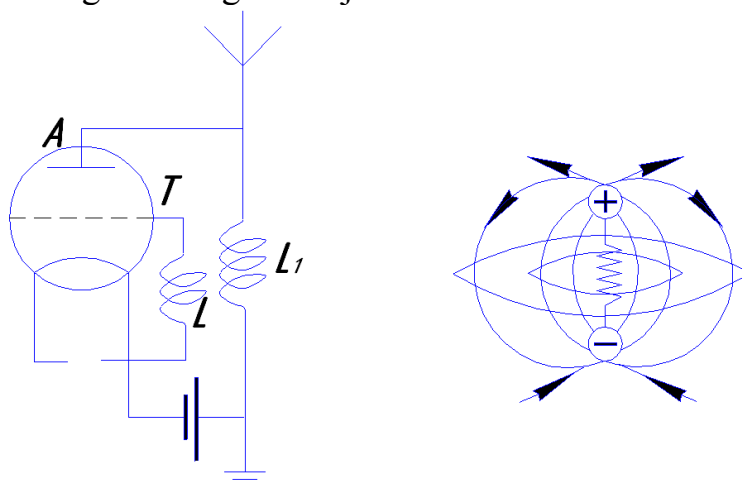
$$g = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon\mu}} \quad (11.6)$$

orqali ifodalanadi.

Vakuumda $\varepsilon = \mu = 1$, $v = c = 3 \cdot 10^8$ m/c, ya'ni elektromagnit to'rlqlar vakuumda yorug'lik tezligiga teng tezlik bilan tarqaladi.

Gers tajribasi

Maksvell tenglamalaridan elektromagnit to'rlqlar mavjudligi xulosa tarzida kelib chiqqan bo'lsada, uning amaliy tasdig'i Gerts tajribasi (1888 y.) yordamida aniqlandi. Elektromagnit tebranishlar, tebranish konturida vujudga kelsada, u elektromagnit to'rlqlarni tarlanish manbai bo'la olmaydi, chunki elektr maydon energiyasi kondensator qoplamalari oralig'ida, magnit maydon energiyasi esa g'altak o'ramlari bilan chegaralangan cho'lg'am hajmida bo'ladi.



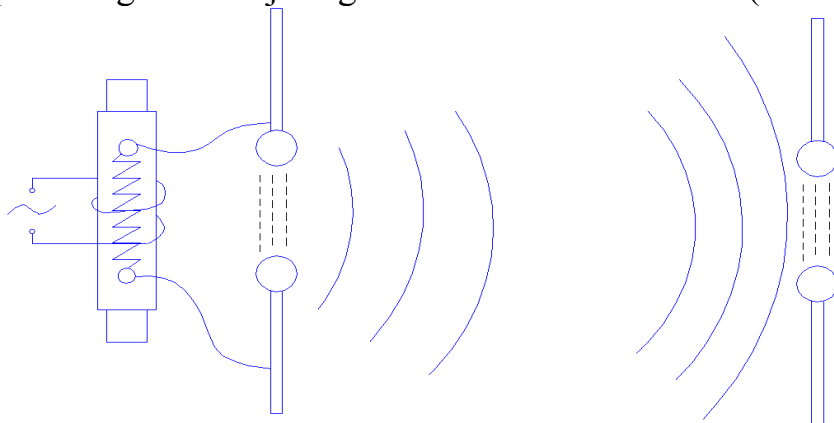
11.2-rasm

Tarqalayotgan elektromagnit to'rlqlarni yuzaga keltirish uchun g'altak o'ramlari sonini kamaytirib, kondensator qoplamalari oralig'i ochilsa, ochiq tebranish

konturi hosil bo'ladi. Elektromagnit to'lqinlar lampali generator bilan induktiv bog'lanishga ega bo'lgan tebranish konturida hosil qilinadi (11.2-rasm).

To'r potentsiali musbat bo'lganda anod zanjiridan tok o'tadi. Bu tokning g'altakda hosil qilgan magnit maydon kuch chiziqlari to'rga ulangan L^1 - g'altak o'ramlarini kesib o'tib, unda shunday tok hosil qiladiki, natijada to'r potentsiali manfiy bo'ladi. O'zaro induksiya tufayli vujudga kelgan tok, to'r potentsialini o'nglab anod zanjirini ochadi. Ana shu tarzda ochiq tebranish konturida elektromagnit tebranishlar hosil qilinadi va tarqatiladi.

Gerts elektromagnit to'lqinlar hosil qilish uchun o'zi ibtido vibratordan foydalandi. Gerts vibratori – induktorga drossel orqali ulangan, uchlariga metall shar biriktirilgan, uchqun oralig'i bilan ajratilgan metall o'zakdan iborat (11.3-rasm).



11.3-rasm

Vibrator induktor yordamida zaryadlanadi. Kuchlanish “teshilish” darajasiga yetganda, $U_T = E_T d$ uchqun hosil bo'lib vibratorni 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.

Vibratorni botiq metall ko'zgu fokusiga joylashtirib, yo'naltirilgan elektromagnit to'lqin hosil qilinadi. Yo'naltirilgan to'lqinlardan foydalanib, elektromagnit to'lqinlarning xossalari o'rganish mumkin. (to'lqinlarning qaytishi, sinishi, dispersiyalanishi) Yo'naltirilgan elektromagnit to'lqinlar yo'lga metall ko'zgu o'rnatilib, turg'un elektromagnit to'lqin hosil qilinadi. Vibrator chastotasiga sozlangan rezonator yordamida ketma-ket uchqun chaqnashlar oralig'i $S = \lambda/2$ - ni aniq o'lchab, elektromagnit to'lqinlar tarqalish tezligini tajribada aniqlash mumkin.

$$v_{om} = \lambda \nu = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

O'tkazilgan tajribalar elektromagnit to'lqinlar tarqalish tezligini yorug'lik tezligiga teng ekanligini ko'rsatadi.

Elektromagnit maydon energiya oqimining zichligi. Umov-Poyting vektori va uning qo'llanishi.

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 oqimining zichligi deyiladi. Energiya oqimi zichligi vektorining yo'nalishi to'lqinning tarqalish tezligi bilan bir xil bo'ladi.

Elektromagnit maydon energiya zichligi elektr va magnit maydon energiyalari zichliklarining yig'indisiga teng:

$$\omega_T = \omega_{o.l} + \omega_M = \frac{\varepsilon_o E^2}{2} + \frac{\mu\mu_o H^2}{2} \quad (11.7)$$

Elektromagnit to'lqinlarda $\vec{E}, \vec{H}$ –vektorlar birday fazoda o'zgarganligi uchun elektr maydon energiyasi zichligi ($\omega_{o.l}$) magnit maydon energiyasi zichligi (ω_M) ga tengligidan foydalanib,

$$\sqrt{\varepsilon_o E} = \sqrt{\mu\mu_o H}$$

(11.7) ni quyidagicha ifodalaymiz:

$$\omega = 2\omega_o = \varepsilon_o E^2 \quad \text{yoki} \quad \omega = \sqrt{\varepsilon_o \mu_o} \cdot \sqrt{\varepsilon\mu} \cdot E \cdot H \quad (11.8)$$

Elektromagnit to'lqin tezligi

$$v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_o \mu\mu_o}} \quad (11.9)$$

(11.9) ni hisobga olib, elektromagnit to'lqin energiyasi oqimi zichligi uchun (Umov-Poyting vektori):

$$\vec{S} = \omega \vec{g} = \vec{E} \cdot \vec{H} \quad (11.10)$$

$\vec{E}, \vec{H}$ –vektorlar o'zaro perpendikulyar bo'lib, tarqalish yo'nalishi o'ng vint qoidasi aniqlanadi. Shuning uchun ham $[\vec{E} \cdot \vec{H}]$ –vektorlarining yo'nalishi energiyaning ko'chishi bilan mos tushadi.

Elektromagnit to'lqin va uning asosiy xossalari.

Elektromagnit to'lqin (ya'ni fazoda chekli tezlik bilan tarqaluvchi elektromagnit maydon) ning mavjudligi Maksvell tenglamalaridan xulosa sifatida kelib chiqadi.

Erkin fazo (vakuum)dagi elektromagnit to'lqinlarning asosiy xossalarini ko'rib chiqaylik:

- Erkin fazodagi har qanday elektromagnit to'lqin yorug'lik tezligi $s=3 \cdot 10^8$ m/s bilan tarqaladi. Bu xossa eng avvalo erkin elektromagnit maydonning tinchlik holatida mavjud bo'laolmasligini anglatadi.

- Istalgan elektromagnitli to'lqin jarayonini–yassi monoxromatik elektromagnit to'lqinlarning superpozitsiyasi shaklida ifodalash mumkin.

- Elektromagnit to'lqinda albatta ikkita, ya'ni E elektr va B magnit maydonlari qatnashadi.

- Elektromagnit to'lqinlar–ko'ndalang to'lqinlar hioblanishadi.

- Elektromagnit to'lqin qutblanish xossasiga ega.

- Bir sanoq sistemasidan ikkinchisiga o'tganda (agar ikkinchi birinchiga nisbatan v tezlik bilan harakatlanayotgan bo'lsa) elektromagnit chastotasi va to'lqin vektori o'zgaradi. U Lorents almashtirgichlari yordamida aniqlanadi.

$$\omega = \omega' \frac{1 + (v/c) \cos \alpha'}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}$$

Bu formula Doplarning elektromagnit effektini ifodalaydi.

Elektromagnit to'liqidagi energiya oqimining zichligi—energiya zichligi bilan quyidagicha bog'lanadi:

$$\vec{\Pi} = \vec{n} c \vec{\omega}$$

Bunda $\vec{\omega} = \varepsilon E^2$ - energiya zichligi, $\vec{n}$ - birlik vektor bo'lib, u to'liqning tarqalish yo'nalishini ko'rsatadi.

Nazorat savollari

1. Elektromagnit to'liq nima? Uning tarqalish tezligi qanday?
2. Elektromagnit to'liqining manbasi nima bo'lishi mumkin?
3. Elektromagnit to'liq xossalari aytib bering.
4. Elektromagnit to'liq shkalasini haqida gapiring.
5. Elektromagnit to'liqning differentsial tenglamasini yozing.
6. Elektromagnit to'liqlarning fazoviy tezligi qanday aniqlanadi?
7. Elektromagnit to'liqning hajmiy energiya zichligi qanday aniqlanadi?
8. Umov – Poynting vektorining fizik ma'nosi nimadan iborat?
9. Elektromagnit maydon impul'si nimadan iborat?
10. Massa bilan energiya orasidagi formulani keltirib chiqaring.

12-ma'ruza. ELEKTROMAGNIT MAYDONI VA MAKSVELL TENGLAMALARI

Reja

1. Maksvell tenglamalarining Lorens almashtirishlariga nisbatan invariantligi.
2. Zaryadlar va toklar maydonlarini relyativistik almashtirilishi.
3. Elektr va magnit maydonlarning nisbiyligi. Nisbiylikning maxsus nazariyasi va uning mohiyati.
4. Poyting vektori. Cherenkov nurlanishi..

Faradey tajribasidan ma'lumki, o'tkazuvchan berk kontur o'rab turgan yuza orqali magnit oqimining har qanday o'zgarishi, shu kontur bo'ylab ta'sir etuvchi elektr yurituvchi kuch (E.Yu.K.) ni vujudga keltiradi. Induksiya E.Yu.K. vujudga kelishini o'zgaruvchan magnit maydoniga joylashtirilgan qo'zg'almas berk zanjirda ham kuzatish mumkin.

Ma'lumki, tok faqat noelektrostatik xarakterdagi tashqi kuchlar tufayli vujudga keladi. Qo'zg'almas zanjirda o'zgaruvchan magnit maydoni tufayli vujudga kelgan bu tashqi kuchlar tabiatini nafaqat issiqlik yoki kimyoviy hodisalar asosida, hatto Lorens kuchlari tufayli ham izohlab bo'lmaydi. Maksvell o'zgaruvchan magnit maydoni fazoning ixtiyoriy nuqtasida moddaning bor yoki yo'qligidan qat'iy nazar uyurmali elektr maydoni hosil qiladi degan gipotezani ilgari surdi. (Modda faqat maydonni qayd qiluvchi vosita vazifasini bajaradi xolos).

Uyurmali elektr maydon kuchlanganligi vektorining sirkulyatsiyasi noldan farqli bo'lib, hisoblashlar ko'rsatishicha, u magnit oqimining o'zgarish tezligini ifodalaydi:

$$\oint_L E_B dl = -\frac{d\Phi_B}{dt} \quad (12.1)$$

Bunda

$$\Phi_B = \int_S B dS \quad (12.2)$$

(12.1) va (12.2) lardan,

$$\oint_L E_{Be} dl = -\frac{\partial}{\partial t} \left(\int_S B dS \right) \quad (12.3)$$

Kontur qo'zg'almas bo'lganligi tufayli differensial va integral belgilarning o'rinlarini almashtirib:

$$\oint_L E_{Be} dl = -\int_S \left(\frac{\partial B}{\partial t} \right) dS \quad (12.4)$$

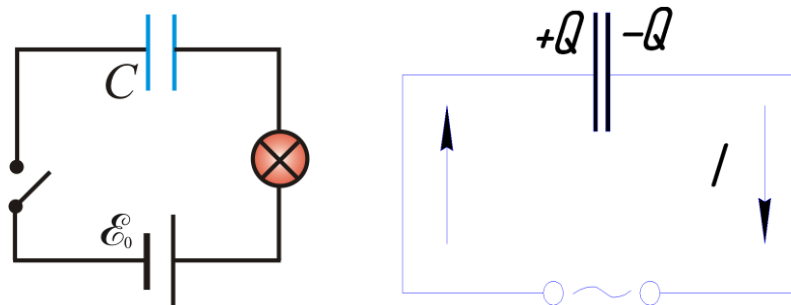
(12.4) elektrodinamikaning birinchi asosiy qonuni bo'lib, magnit maydoni o'zgarishi tufayli vujudga kelgan elektr maydonini uyurmali xarakterga ega ekanligidan darak beradi.

Siljish toki

Elektromagnit maydonni xarakterlashda Maksvell siljish toki tushunchasidan foydalandi. Ma'lumki, magnit maydonini hosil qila oladigan uyurmali elektr

maydonini 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. (96-rasm)



12.1-rasm

Kondensator zaryadlanib, razryadlanib turishi tufayli qoplamalar orasidagi elektr maydoni ham davriy o'zgarib turadi. Siljish toki o'tkazuvchanlik toki chiziqlarini o'tkazgich – dielektrik chegarasida uzmay, balki uni nafaqat dielektrik ichida, hatto vakuumda ham tutashtirib yuboradi. Siljish toki ham o'tkazuvchanlik toki kabi magnit maydoni hosil qiladi. Siljish tokining magnit maydoni hosil qilishini Eyxenvold (1901 y.) tajribada aniqlagan. Maksvell nazariyasiga ko'ra o'tkazuvchanlik toki zichligini siljish toki zichligiga teng deya olamiz:

$$\vec{j}_y = \vec{j}_c \quad (12.5)$$

$$j_{ym} = \frac{dI}{dS} = \frac{1}{dS} \cdot \left(\frac{dq}{dt}\right) = \frac{d}{dt} \left(\frac{q}{dS}\right) = \frac{d\sigma}{dt} \quad (12.6)$$

bu yerda ds – kondensator qoplamasining yuzi.

σ - zaryadning sirt zichligi.

Gauss teoremasiga muvofiq, elektr siljish vektori $\vec{D}$ -ni, zaryadning sirt zichligi σ - ga tengligini isbotlash mumkin.

$$\oint_s \vec{D} dS = \sum q_i \quad q_i = \sigma dS$$

$$\oint_s \vec{D} dS = \sum q_i = \oint_s \sigma dS; \quad D = \sigma \quad (12.7)$$

(12.7) ni hisobga olib, siljish toki zichligi uchun:

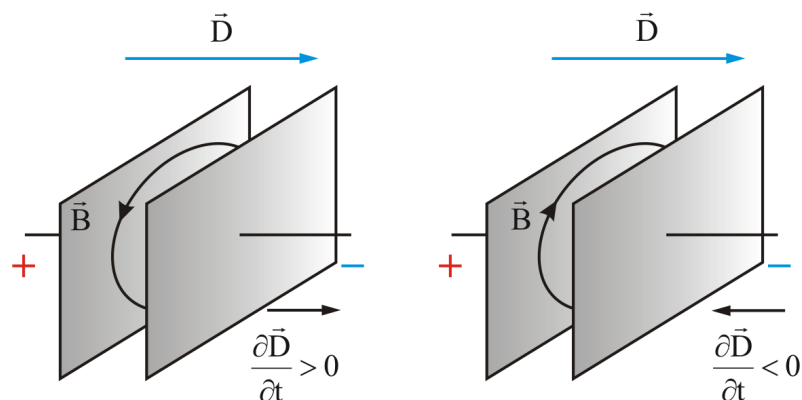
$$\vec{j}_c = \partial \vec{D} / \partial t \quad (12.8)$$

Bundan, siljish toki va u hosil qilgan magnit maydon faqat elektr siljish vektori $\vec{D}$ -ning o'zgarish tezligiga proporsionaldir degan xulosa kelib chiqadi. Endi siljish tokining yo'nalishini aniqlaymiz. Kondensator zaryadlanishida tok o'ngdan chapga oqadi.

Induksiya vektori $\vec{D}$ -ortadi, bunda $\partial \vec{D} / \partial t > 0$ bo'lishi kuzatiladi hamda siljish vektori $\vec{D}$ bilan $\vec{J}$ mos tushadi. Siljish toki zichligining vektori o'tkazuvchanlik toki vektori bilan bir tomonga yo'nalgan bo'ladi. (12.2-rasm)

Kondensator razryadlanishida tok chapdan o'ng tomonga oqib, elektr siljish vektori kamayadi, $\partial \vec{D} / \partial t < 0$ bo'ladi. Siljish vektorining o'zgarish tezligi $\vec{D}$ -ga

qarama-qarshi yo'nalgan bo'ladi. Siljish toki zichligi vektori $\vec{j}_c$ o'tkazuvchanlik tok zichligi $\vec{j}_{ym}$ -vektori bilan mos tushadi.



12.2-rasm

Agar qoplamalar orasida dielektrik modda joylashtirilgan bo'lsa, elektr siljish vektori:

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P} \quad (12.9)$$

bu yerda E -elektr maydon kuchlanganligi

P -qutblanish vektori

(12.9) ni (12.8) ga qo'yib, tok zichligi uchun:

$$\vec{j}_c = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} = \frac{\partial(\epsilon_0 \vec{E} + \vec{P})}{\partial t} = \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \frac{\partial \vec{P}}{\partial t} \quad (12.10)$$

(12.10) 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 toklarining yig'indisidan iborat bo'ladi:

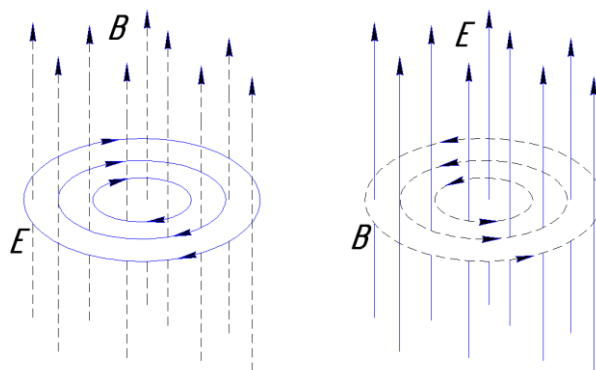
$$\vec{j}_T = \vec{j}_{ym} + \vec{j}_c = \vec{j}_y + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (12.11)$$

Buni hisobga olib, Gauss teoremasi magnit maydon kuchlanganlik vektori uchun:

$$\oint_L \vec{H}_R dl = \oint_S \left(\vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) \cdot d\vec{S} \quad (12.12)$$

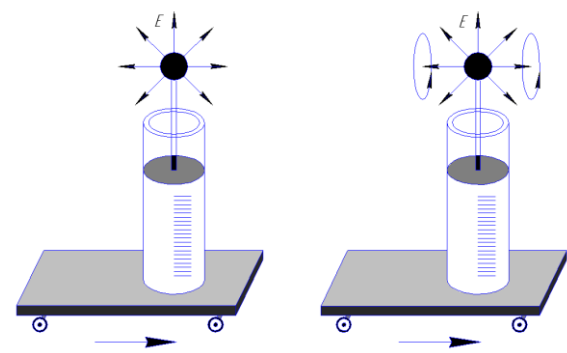
(12.13) elektrodinamikaning ikkinchi asosiy tenglamasi hisoblanadi va to'la toklar qonuni deb ham yuritiladi. Maksvell tomonidan uyurmali elektr maydon, siljish toki kabi tushunchalarning kiritilishi elektromagnit maydon nazariyasini yaratilishiga olib keldi. Magnit maydonning o'zgarishi elektr maydonini vujudga keltirishi va aksincha o'zgaruvchan elektr maydoni magnit maydonini vujudga keltirishi elektromagnit maydon deyiladi. (12.3-rasm)

Elektromagnit maydon statsionar bo'lmay fazoda ma'lum chekli tezlik bilan tarqaladi.



12.3-rasm

Elektromagnit maydon materiyaning o'ziga xos yashash formasi bo'lib, u ob'yektiv 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. (12.4-rasm)



12.4-rasm

Maksvell tenglamalari

Maksvell elektr va magnit maydonlarning barcha xossalarini 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. Mexanikada 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 maydonni qo'zg'almas zaryadlar vujudga keltiradi, uyurmali maydonni esa o'zgaruvchan magnit maydoni hosil qiladi. Natijada to'la maydon kuchlanganligi:

$$\vec{E} = \vec{E}_q + \vec{E}_B \quad (12.13)$$

Demak, kuchlanganlik vektorining sirkulyatsiyasi $\oint_L \vec{E} \cdot d\vec{l} = \oint_L \vec{E}_q \cdot d\vec{l} + \oint_L \vec{E}_B \cdot d\vec{l}$

Potensial maydon kuchlanganlik vektori sirkulyatsiyasi nolga tengligini hisobga olib,

$$\oint_L E dl = - \oint_S \left(\frac{\partial B}{\partial t} \right) dS \quad (12.14)$$

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.

$$\oint_L H_I dl = \oint_S \left(\bar{j} + \frac{\partial \bar{D}}{\partial t} \right) dS \quad (12.15)$$

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.

$$\oint_S \bar{D}_n dS = \sum q_i = \oint_V \rho dV \quad (12.16)$$

Elektr induksiya (siljish) vektorining har qanday berk sirt orqali oqimi, shu sirt ichidagi zaryad miqdorlarining algebraik yig'indisiga teng.

Maksvellning to'rtinchi asosiy tenglamasi magnit induksiya vektori uchun Gauss teoremasini ifodalaydi:

$$\oint_S B_n dS = 0 \quad (12.17)$$

Har qanday berk sirt orqali o'tgan magnit induksiya vektorining oqimi nolga teng. Shunday qilib, Maksvell tenglamalarining sistemasi quyidagi integral ko'rinishga ega:

$$\begin{aligned} \oint_L E dl &= - \oint_S \left(\frac{\partial B}{\partial t} \right) dS \\ \oint_L H_I dl &= \oint_S \left(\bar{j} + \frac{\partial \bar{D}}{\partial t} \right) dS \\ \oint_S \bar{D}_n dS &= \sum q_i = \oint_V \rho dV \\ \oint_S B_n dS &= 0 \end{aligned} \quad (12.18)$$

Nazorat savollari:

1. Uyurmali elektr maydon hosil bo'lishining sababi nimada? U lektrostatik maydondan nimasi bilan farq qiladi?
2. Uyurmali elektr maydonning tsirkulyatsiyasi nimaga teng?
3. Nima uchun siljish toki tushunchasi kiritilgan? Uning mohiyati nimada?
4. Siljish toki zichligining ifodasi qanday? Uni keltirib chiqaring va izohlang?
5. Siljish toki va o'tkazuvchanlik toklarini qaysi ma'noda solishtirish mumkin?
6. Magnit maydon kuchlanganlik vektori tsirkulyatsiyasi haqidagi umumlashgan teoremani yozib, uning fizik ma'nosini tushuntirib bering?
7. Maksvellning integral va differentsial tenglamalar tuzilishini yozib, ularning fizik ma'nosini ochib bering?

13-ma'ruza. ELEKTROMAGNIT TEBRANISHLAR

Reja

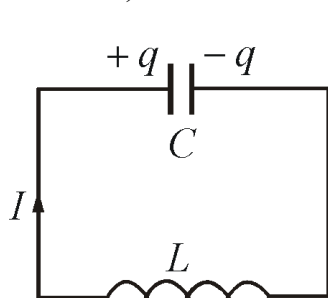
1. Zanjirda tokning paydo bo'lishi va yo'q bo'lishi. Tebranishlarni talqin qilishni kompleks shakli.
2. Vektorlar diagrammasi.
3. Tebranish konturidagi fizik jarayonlar. Tomson formulasi.
4. O'zgaruvchan tok.
5. O'zgaruvchan tok zanjirida qarshilik, sig'im va induktivlik.
6. Elektr tebranishlar. Elektr tebranishlarining differensial tenglamasi
So'navchi elektr tebranishlar. Majburiy elektr tebranishlar

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:

Berk tebranish konturi

Tebranish konturi kondensator va o'zinduksiya g'altigidan iborat bo'ladi (13.1-rasm). Kondensatorni zaryadlasak, energiyasi



13.1-rasm

$$W_c = \frac{q^2}{2C} \quad (13.1)$$

bo'lgan maydon hosil bo'ladi, zaryad ko'chib, g'altakda tok vujudga keladi. Bu tokning magnit maydon energiyasi

$$W_m = \frac{LI^2}{2} \quad (13.2)$$

Ideal zanjir qarshiligi nolga teng bo'lganligi sababli elektr va magnit maydon energiyasi yig'indisidan iborat to'la energiya o'zgarmasdan saqlanadi:

$$W = \frac{q^2}{2C} + \frac{LI^2}{2} = \text{const} \quad (13.3)$$

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 ham nolga tenglashib, elektr maydon energiyasi eng katta qiymatga erishadi. Shunday qilib, elektr va magnit maydonlarining davriy takrorlanishi kuzatiladi: erkin elektr tebranishlari vujudga keladi.

Tok manbaiga ulanmagan kontur uchun Kirxgof qonuni:

$$L \frac{dI}{dt} + \frac{q}{C} = 0 \quad (13.4)$$

(13.4) ifodaning har ikkala tomonini L-ga bo'lib, $L = \frac{dI}{dt} = \ddot{q}$ deb belgilab,

$$\ddot{q} + \frac{1}{LC}q = 0 \quad (13.5)$$

$$\omega_0^2 = \frac{1}{LC} \quad (13.6)$$

(13.5) va (13.6) ni hisobga olib

$$\ddot{q} + \omega_0^2 q = 0 \quad (13.7)$$

(13.7) erkin elektr tebranishlarining differensial tenglamasi deb yuritiladi.

Bu tenglamaning yechimi quyidagi ko'rinishda bo'lib, u elektr tebranishlarining parametrik tenglamasi deb ataladi:

$$q = q_0 \cos(\omega_0 t + \alpha) \quad (13.8)$$

Shunday qilib kondensator qoplamalarida zaryad miqdori, elektr va magnit maydonlari davriy qonun bo'yicha ma'lum chastota bilan o'zgaradi:

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T} \quad (13.9)$$

(13.6) va (13.9) lardan

$$T = 2\pi\sqrt{LC} \quad (13.10)$$

yuzaga keladi (13.10) erkin elektr tebranishlarining davrini ifodalab, Tomson formulasi deyiladi.

Kondensator qoplamalaridagi kuchlanish:

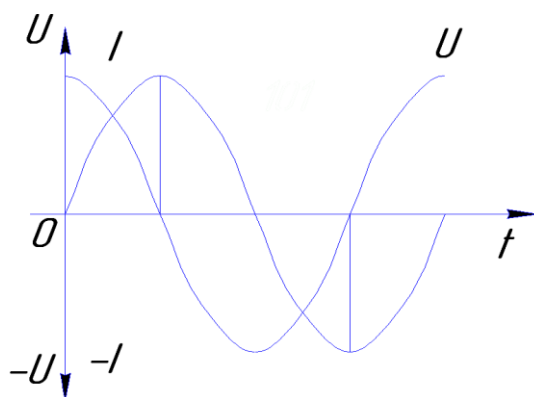
$$U = \frac{1}{C} \cdot q = \frac{q_0}{C} \cos(\omega t + \alpha_0) = U_0 \cos(\omega_0 t + \alpha) \quad (13.11)$$

bu yerda $U_0 = q/C$

(13.8) vaqt boyicha differensiallab, tok kuchi uchun (13.12) ni yozamiz:

$$I = \frac{dq}{dt} = -\omega_0 q_0 \sin(\omega_0 t + \alpha) = I_0 \cos(\omega_0 t + \alpha_0 - \frac{\pi}{2}) \quad (13.12)$$

(13.8) va (13.12) larni taqqoslash natijasida, kondensatordagi tok kuchi kuchlanish fazasidan $\pi/2$ -qadar oldinda yurishini kuzatish mumkin. (13.2-rasm)



13.2-rasm

So`nuvchi elektr tebranishlar.

Har qanday real kontur aktiv qarshilikka ega. Energiya qarshilikda issiqlikka aylanishi tufayli tebranishlar sekin-asta so'nadi. Tashqi E.Yu.K. manbaiga ulanmagan konturda uning elementlaridagi kuchlanishlar yig'indisi nolga teng:

$$L \frac{dI}{dt} + RI + \frac{q}{C} = 0 \quad (13.13)$$

(13.13) ni L ga bo'lib va quyidagi belgilashlarni kiritib:

$$\begin{aligned} I &= \dot{q} & \frac{dI}{dt} &= \ddot{q} \\ \ddot{q} + \frac{R}{L} \dot{q} + \frac{1}{LC} q &= 0 \end{aligned} \quad (13.14)$$

ko'rinishdagi ifodani hosil qilamiz.

(13.14) ga $\beta = \frac{R}{2L}$; $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ almashtirishlar kiritib,

$$\ddot{q} + 2\beta\dot{q} + \omega_0^2 q = 0 \quad (13.15)$$

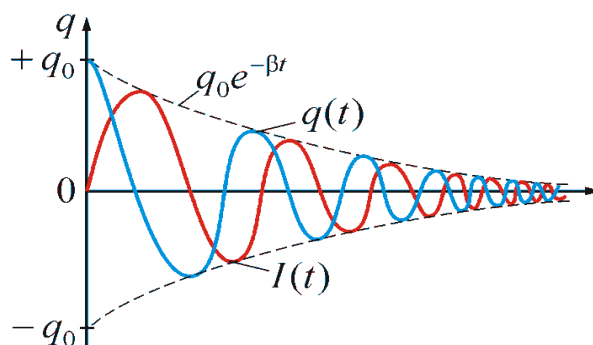
(13.15) so`nuvchi elektr tebranishlarning differensial tenglamasi deb yuritiladi. Bu tenglamaning yechimi

$$\frac{R^2}{4L^2} < \frac{1}{LC} \quad (13.16)$$

shart bajarilganda quyidagi ko`rinishda bo`ladi:

$$q = q_0 e^{-\beta t} \cos(\omega_0 t + \alpha) \quad (13.17)$$

(13.17) dan ko`rinadiki, vaqt o`tishi bilan kondensator qoplamasidagi zaryad miqdori *eksponensial* qonun bo`yicha kamayadi. (13.3-rasm)



13.3-rasm

Tebranishlarning so`nishi so`nishning logarifmik dekrementi orqali xarakterlanadi.

$$\lambda = \ln \frac{a(t)}{a(t+T)} = \beta T; \quad \lambda = \frac{1}{N_e} \quad (13.18)$$

bu yerda, N_e - amplitudaning e-marta kamayishidagi tebranishlar soni.

So`nishning logarifmik dekrementiga teskari proporsional bo`lgan kattalik konturning aslligi deb yuritiladi:

$$Q = \frac{\pi}{\lambda} = \pi N_e \quad (13.19)$$

(13.18) ni hisobga olib:

$$Q = \frac{\pi}{\beta T} = \frac{2\pi}{2\beta T} = \frac{\omega}{2\beta} \quad (13.20)$$

Agar $\beta^2 \ll \omega_0^2$ shart bajarilsa, $\omega = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ bo`ladi. U holda asllik

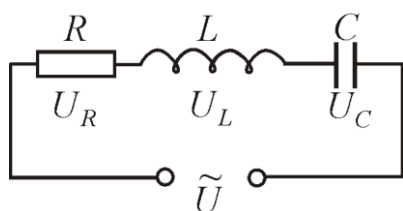
$$Q = \frac{1}{R} \cdot \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (13.21)$$

orqali ifodalanadi.

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. (13.4-rasm)



13.4-rasm

Bunday zanjirda har bir elementdagi kuchlanishlar yig'indisi tashqi manbaning kuchlanishiga teng bo'ladi:

$$U_L + U_R + U_C = U_0 \cos \omega t \quad (13.5)$$

$$U_L = L \frac{dI}{dt}; \quad U_R = IR; \quad U_C = \frac{1}{C} \cdot q \quad (13.6)$$

(13.6) ni hisobga olib:

$$L \frac{dI}{dt} + RI + \frac{1}{C} q = U_0 \cos \omega t \quad (13.7)$$

quyidagi almashtirishlarni qo'llab,

$$\ddot{q} = \frac{dI}{dt}; \quad \dot{q} = I = \frac{dq}{dt}; \quad \beta = \frac{R}{2L}; \quad \omega_0^2 = \frac{1}{LC}$$

(13.7) ni

$$\ddot{q} + 2\beta\dot{q} + \omega_0^2 q = \frac{U_0}{L} \cos \omega t \quad (13.8)$$

shaklida yozamiz. (13.8) majburiy elektr tebranishlarning differensial tenglamasini ifodalaydi. Bu tenglamaning xususiy yechimi:

$$q = q_0 \cos(\omega t + \varphi) \quad (13.9)$$

Bu yerda q_0 -zaryad miqdorining amplitudaviy qiymati:

$$q_0 = \frac{U_0}{\omega \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}} \quad (13.20)$$

Tebranishlar fazasi esa:

$$\tan \varphi = \frac{R}{\frac{1}{LC} - \omega L} \quad (13.21)$$

(13.19) ni vaqt bo'yicha differentsiallab, tok kuchi uchun (13.22)ni hosil qilamiz.

$$I = -\omega q_0 \sin(\omega t - \varphi) = I_0 \cos(\omega t - \varphi + \frac{\pi}{2}) \quad (13.22)$$

bu yerda I_0 -tok kuchining amplitudaviy qiymati

$$I_0 = \omega q_0 = \frac{U_0}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}} \quad (13.23)$$

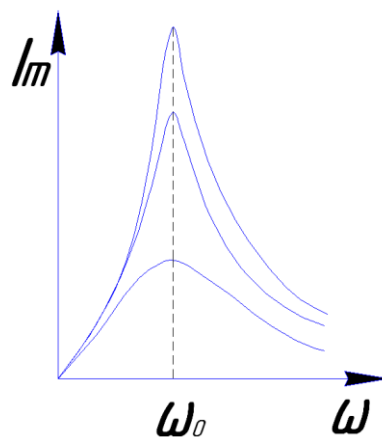
Ildiz ostidagi ifoda zanjirning to'liq qarshiligi deyiladi

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2} \quad (13.24)$$

Agar $L\omega = 1/\omega C$ 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 qiymatga 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. (13.5-rasm) Bu shartni qanoatlantiruvchi chastota $\omega_p = 1/\sqrt{LC}$ rezonans chastotasi deyiladi.



13.5-rasm

Nazorat savollari

1. Garmonik tebranish va davriy jarayonlarni tushuntirib bering?
2. Tebranish amplitudasi, fazasi, davri, chastotasi va tsiklik chastotasini ta'riflang?
3. To'g'ri chiziqli garmonik tebranishlarda siljishning amplitudasi va fazasi orasidagi bog'lanishni aniqlang?
- Tebranish konturi erkin garmonik tebranishlar sodir bo'lganda qanday jarayonlar kuzatiladi?
5. Tebranish konturidagi erkin garmonik tebranishlarning differentsial tenglamasini yozing va uni tahlil qilib bering?
6. Tebranish konturining qaysi qismida maksimal elektr energiyasini yig'ish mumkin?
7. Maksimal magnit energiyasini tebranish konturining qaysi qismida yig'ish mumkin?
8. Tomson formulasini keltirib chiqaring va uni tahlil qilib bering?
9. Konturdagi tok va zaryadning tebranish fazalari orasidagi farq nimadan iborat? So'nuvchi tebranishlarning differentsial tenglamasini va uning yechimini yozing.
10. So'nuvchi tebranish amplitudasi qanday qonun bilano'zgaradi?
11. So'nish koeffitsienti nimani anglatadi?
12. Majburiy elektromagnit tebranishlarni tushuntiring.
13. Majburiy tebranishlar amplitudasi nimalarga bog'liq bo'ladi?
14. Rezonansni ta'riflang. Uning ahamiyatini tushuntiring.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Savelev I. V. Umumiy fizika kursi, t. 1-3. M., Nauka 1989-92.
3. Детлаф А. А., Яворский Б. М. Курс физики. М., Высшая школа, 1989 г.
4. Трофимова Т. И. Курс физики. М., Высшая школа, 1999 г.
5. Sivuxin D.V. Umumiy fizika. Mexanika. T., O'qituvchi, 1981 y.
6. Strelkov S.P. Umumiy fizika kursi. Mexanika. T., O'qituvchi, 1977 y.
7. Axmadjonov O.I. Fizika kursi II k.T. O'qituvchi 1988-89 y.
8. Safarov A.S. Umumiy fizika kursi. Elektromagnetizm va to'lqinlar.T., O'qituvchi, 1992 y.
9. Krasimov A., Safarov A. va boshqalar. Fizika kursi. 1 k. O'zbekiston, 1994 y.
10. Nazarov U.K. va boshqalar. Umumiy fizika kursi 1 k. O'zbekiston, 1992 y.
11. Kalashnikov S.G. Elektr. T., O'qituvchi, 1979y.
12. Volkenshteyn V.S. Umumiy fizika kursidan masalalar to'plami. T. O'qituvchi 1969y.

MUNDARIJA

	Kirish	3
1	Elektrostatika	4
2	Elektr maydon potentsiali	16
3	Elektrostatik maydondagi o'tkazgich	21
4	Elektrostatik maydondagi dielektrik	28
5	O'zgarmas elektr toki	33
6	Kontaktdagi termoelektrik hodisalar	41
7	Magnit maydoni va uning xarakteristikalar	47
8	Magnit maydon tamonidan tasir etuvchi kuchlar	55
9	Elektromagnit induksiya hodisasi	63
10	Moddadagi magnit maydoni	70
11	Elektromagnit to'lqinlar. Nisbiylik nazariyasi	78
12	Maksvell tenglamalari	83
13	Elektromagnit tebranishlar	88