

**O'zbekiston Respublikasi oliy va o'rta maxsus ta'lim
vazirligi**

Toshkent to'qimachilik va engil sanoat instituti

X.I. Isayev, Q.Yo. Hamrayev, E.T.Daminov

UDK 5300112

“FIZIKA KAFEDRASI”

ELEKTR VA MAGNETIZM

MA'RUZALAR KURSI

Toshkent – 2010

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. Bunday 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: Isayev Hamid Isayevich,
Hamrayev Qosim Yog'murovich,
Daminov Eshmurod Tursunpo'latovich.

Taqrizchilar: TATU "Fizika" kafedrasida
dotsenti A.A. Fattoxov

TTESI «Fizika» kafedrasida
dotsenti M.A. Parmonqulov

Jihozlovchi: Xonkelidiev A.R.

TTESI ilmiy uslubiy kengashida muhokama
qilingan va chop etishga tavsiya etilgan.
«__» __2010 y. __ - sonli bayonnoma.

1-Ma'ruza rejasi

- Kirish
- Elektr zaryadi. Elektr zaryadning saqlanish qonuni
- Kulon qonuni (elektrostatikaning asosiy qonuni).
- Elektrostatik maydon va uning kuchlanganligi. Maydonlar superpozitsiyasi
- Vakuumba elektrostatik maydonlar uchun Gauss teoremasi.
- Elektrostatik maydon potentsiali elektrostatik maydonda zaryadni ko'chirishda bajariladigan ish

Mustaqil ta'lim:

- Kuchlanganlik chiziqlari. Dipol maydoni
- Maydon potentsiali va kuchlanganligi orasidagi bog'lanish. Ekvipotentsial sirtlar.

Elektr va magnetizm kursiga kirish

Elektrodinamikani batafsil o'rganishni boshlashdan avval, uning rivoji to'g'risida qisqacha tarixiy ma'lumotlarni keltirib o'tamiz.

Ba'zi bir asosiy elektro magnit hodisalari qadim-qadimdan ma'lum bo'lgan, masalan eramizdan avvalgi 7-asrdayoq qadimgi grek olimi Fales qaxraboni ipak matoga ishqalaganda u engil jismlarni o'ziga tortishini ko'rsatib o'tgan. 16-asr oxirida ingliz vrachi va fizigi V.Gil'bert bir qator tajribalar o'tkazib, nafaqat qaxrabo va balkim oyna, forfor va boshqa jismlarning teri xamda shunga o'xshagan yumshoq matolar bilan ishqalaganda ularda tortish xususiyati paydo bo'lishini aniqladi. U bu xodisani **elektrlanish** deb ataladi.

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 lampani (Dj.Fleming 1904y.) yaratishga va radiotelefoniya usullarini ishlab chiqishga imkoniyat yaratdi.

1895 yilda A.S. Popov radiotelegrafiyani 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 hisoblash mashinalarning 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 xozirda to'plovchi qurilmalarni mukammallashtirish, yangi rusumdagi transport vositalarini ishlab chiqish imkoniyati paydo bo'ldi.

Elektr zaryadi. Elektr zaryadining saqlanish qonuni

Hozirgi zamon fizikasi nuqtai-nazaridan **elektr zaryadi** *elementar zarraning fundamental xarakteristikalaridan biri bo'lib, uning elektromagnit ta'sirlashuv qobiliyatini belgilab beradi.*

Tajribalar asosida, elektr zaryadining quyidagi xossalari aniqlangan:

1. Elektr zaryadining ishorasi tabiat tomonidan belgilab qo'yilmagan

Tabiatda, teskari xossali ikki xil elektr zaryadi mavjud. Ular shartli ravishda manfiy (elektron) va musbat (proton) zaryadlarga ajratilgan. Agar shishani teri bilan ishqalansa musbat zaryad, ebonit (qahrabo)ni junga ishqalansa manfiy zaryadlar hosil bo'ladi. Bir turdagi zaryadlar bir-biridan qochadi, turli ishorali zaryadlar esa bir-birini tortadi.

2. Elektr zaryadi relyativistik invariant kattalikdir, u zaryad tashuvchining harakati tufayli o'zgarib qolmaydi.

Masalan, elektron qanday harakatda qatnashishidan qat'iy nazar, uning zaryadi doimo bir xilligacha qoladi.

3. Elektr zaryadi additivlik xususiyatiga ega, ya'ni istalgan sistemaning zaryadi shu tizimdagi barcha zarralar zaryadlarining algebraik yig'indisiga teng.

Masalan ionning elektr zaryadi atom yadrosi zaryadi va ionlashishidan so'ng qolgan elektronlar zaryadining algebraik yig'indisiga teng.

4. Tabiatda uchraydigan barcha elektr zaryadlarni diskret va yoki boshqacha aytganda ular elementar zaryad ($e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Kl}$) ga karralidirlar. Bu elektr zaryadlarining **kvantlanganlik xossasi** deb ham yuritiladi. Elektron manfiy elementar zaryadni, proton ($m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ Kg}$) - musbat elementar zaryadni tashuvchilar hisoblanishadi. $Q = \pm Ne$.

5. Istalgan berk sistemadagi elektr zaryadlarining algebraik yig'indisi, bu sistemaning ichida qanday o'zgarish bo'lishidan qat'iy nazar, o'zgarmaydi. Bu **elektr zaryadlarining saqlanish qonuni** deyiladi. Bu qonun tajriba natijalarini umumlashtirish orqali kelib chiqadi. Uni ingliz fizigi M.Faradey 1843 yilda eksprimetda tasdiqladi.

Elektr zaryadining yuqorida ko'rsatib o'tilgan 1-5 bandlardagi xossalari fundamental qonunlar ekanini ta'kidlab o'tamiz. Ularni boshqa hech bir fizik qonundan keltirib chiqarib bo'lmaydi. Hozirgi kungacha tabiatda bu xossalarga qarama-qarshi keluvchi biror-bir hodisa kuzatilmagan.

Jismdagi erkin zaryadlar konsentratsiyasiga bog'liq holda ularni **o'tkazgichlar, dielektriklar** va yarim **o'tkazgichlarga** ajratish mumkin. **O'tkazgichlar** ikki guruhga bo'linadi:

1. ***I - turdagi o'tkazgichlar*** (metallar) – ularda zaryadlar (erkin elektronlar)ning ko'chishi tufayli moddalarda kimyoviy o'zgarishlar kuzatilmaydi.
2. ***II - turdagi o'tkazgichlar*** (erigan tuzlar, kislota va ishqor eritmalari) - da zaryadlar (musbat va manfiy ionlar) ning ko'chishi natijasida kimyoviy o'zgarishlar (almashinish)lar kuzatiladi.

Dielektriklar (shisha, plastmassa, qaxrabo, distillangan suv, spirt va hokazo) bu deyarli erkin zaryadlarga ega bo'lmagan jismlardir.

Yarim o'tkazgichlar (germaniy, kremniy, selen va grafit) esa orliq holatni egallaydigan jismlardir. Ularning elektr o'tkazuvchanligi sezilarli tarzda tashqi sharoit, asosan teperaturaga bog'liq bo'ladi.

Elektr zaryadi (elektr miqdori)ning birligi

$$[Q] = Кл \quad (Кулон) \quad Кл = A \cdot c$$

1 Кл—o'tkazgichning ko'ndalang kesim yuzasidan 1s ichida (undan 1A tok o'tib turgani holda) oqib o'tadigan zaryad miqdoridir.

Kulon qonuni (elektrostatikaning asosiy qonuni)

1785 yilda frantsuz fizigi Sh.O.Kulon buralma tarozi yordamida tajribalar o'tkazib, elektrostatikaning asosiy qonuni hisoblangan **Kulon qonunini** aniqladi:

Vakuumda joylashgan ikkita nuqtaviy, qo'zg'almas zaryadlar o'zaro zaryadlar ko'paytmasiga to'g'ri proporsional va oralaridagi masofaning kvadratiga esa teskari proporsional bo'lgan kuch bilan ta'sirlashadilar:

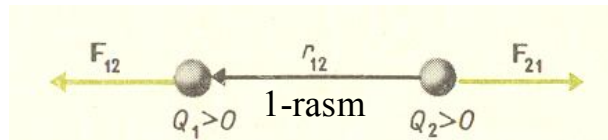
$$F = \kappa \frac{|Q_1 Q_2|}{r^2},$$

bunda **k**- proporsionallik koeffitsienti bo'lib, uning son qiymati tanlanadigan birliklar sistemasiga bog'liq. **F** - markaziy (ya'ni, o'zaro ta'sirlashuvchi zaryadlarni birlashtiruvchi to'g'ri chiziq bo'ylab yo'nalgan) kuch bo'lib, turli ishorali zaryadlar uchun tortishish ($F < 0$) va bir xil ishorali zaryadlar uchun itarish ($F > 0$) xususiyatini namoyon qiladi.

Kulon qonunining vektor ko'rinishi quyidagicha:

$$\vec{F}_{12} = \kappa \cdot \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \cdot \frac{\vec{r}_{12}}{r}$$

\vec{F}_{12} - Q_2 zaryad tomonidan Q_1 zaryadga ta'sir etuvchi kuch. \vec{r}_{12} - esa shu zaryadlarni birlashtiruvchi radius-vektor bo'lib, uning modulini $r = \left| \vec{r}_{12} \right|$ shaklida ifodalash mumkin. Q_1 zaryad Q_2 zaryadga $\vec{F}_{21} = -\vec{F}_{12}$ kuch bilan ta'sir qiladi.



Xulosa: Nuqtaviy elektr zaryadlar orasidagi ta'sirlashuv N'yutoning uchinchi qonuniga muvofiq tarzda sodir bo'ladi. Proportsionallik koeffitsientining SI dagi qiymati quyidagicha teng:

$$\kappa = 1/(4\pi\epsilon_0) = 9 \cdot 10^9 \text{ M} / \Phi.$$

Shuni e'tiborga olib, **Kulon qonunining** yakuniy ifodasini quyidagicha yozamiz.

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

Bunda $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ f} / \text{m}$. – elektrik doimiy.

Yuqoridagi formula nafaqat nuqtaviy zaryadlar va balkim kichik o'lchamdagi zaryadli sharlar uchun ham o'rinalidir.

Elektrostatik maydon va uning kuchlanganligi.

Maydonlar superpozitsiyasi.

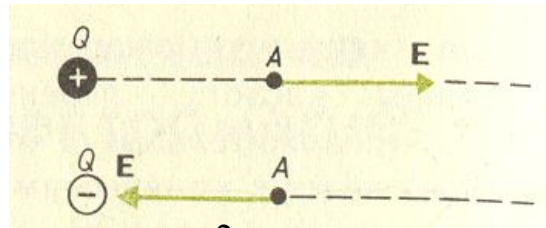
Elektr zaryadi mavjud bo'lgan fazoda kuch maydoni hosil bo'ladi. Maydon ham modda singari moddiy borliq hisoblanadi. Makroskopik jismlar va yoki ularning qismlari orasidagi turli tavsirlashuvlar mos maydonlar orqali amalga oshiriladi. *£o'zg'almas zaryadlar hosil qiladigan maydon elektrostatik maydon* deb yuritiladi. Uni kuch jihatdan xarakterlovchi vektor kattalik-maydon kuchlanganligidir:

Maydon tomonidan shu maydonning berilgan nuqtasiga joylashtirilgan musbat birlik zaryadga ko'rsatiladigan ta'sir kuchini ifodalaydigan fizik kattalikni – elektrostatik maydon kuchlanganligi deb ataymiz:

$$\vec{E} = \vec{F} / Q_0$$

Vakuumda nuqtaviy zaryad hosil qiladigan maydon uchun:

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



2-rasm

Maydon kuchlanganligi vektorining yo'nalishi musbat zaryadga ta'sir qiluvchi kuch yo'nalishi bilan bir hil bo'ladi.

Elektr maydon kuchlanganligining o'lchov birligi:

$$[E] = \frac{H}{Kl} = \frac{B}{M} \text{ -bunda } V \text{ (vol't)}$$

Zaryadlar tizimi hosil qiladigan natijaviy maydon kuchlanganligi, har bir alohida zaryad mazkur nuqtada hosil qiluvchi maydon kuchlanganliklarining geometrik yig'indisiga teng:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n = \sum_i^n \vec{E}_i \text{ chunki } \vec{F} = \sum_i^n \vec{F}_i$$

Bu ifoda elektrostatik maydonlarning **superpozitsiya printspi** deyiladi. Uning yordamida istalgan qo'zg'almas zaryadning elektrostatik maydonini hisoblash mumkin.

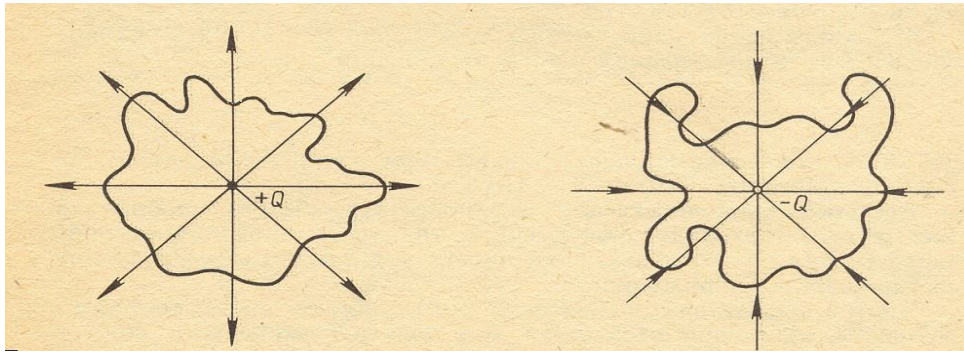
Vakuumda elektrostatik maydonlar uchun

Gauss teoremasi

Ichida Q zaryad joylashgan, r radiusli sferik sirdan o'tuvchi kuchlanganlik vektorining oqimi quyidagicha teng:

$$\Phi_E = \oint_S E_n ds = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \cdot 4\pi r^2 = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

Bu natija istalgan shakldagi berk sirt uchun o'rinlidir. Darhaqiqat, agar sferani tashqi tomondan har qanday berk sirt bilan o'rab olinsa, sferadan chiquvchi barcha kuchlanganlik chiziqlari, albatta, o'sha sirtni ham kesib o'tadi.



(3-rasm)

Agar kuchlanganlik chiziqlari sirtni bir emas, balki bir necha marta kesib o'tganida ham bu tenglik bajariladi, chunki toq marta kesishish oqimni hisoblashda bir marta kesishish sifatida hisoblanadi.

Zaryadsiz berk sirdan chiquvchi oqim nolga teng bo'ladi, chunki kiruvchi va chiquvchi kuchlanganlik chiziqlarining soni bir xil bo'lib, ularning algebraik yig'indisi nolga teng. Oqimning ishorasi zaryadning ishorasi bilan bir xil bo'ladi (3-rasm).

n ta zaryadni qamrab oluvchi, istalgan shakldagi berk kontur uchun umumiy holni ko'rib chiqamiz. Superpozitsiya printsipiga ko'ra umumiy maydon kuchlanganlik vektori - har bir zaryad hosil qiladigan kuchlanganlik vektorlarining geometrik yig'indisiga teng, ya'ni

$$\vec{E} = \sum_i^n \vec{E}_i$$

Shuning uchun:

$$\Phi_E = \oint_S \vec{E} d\vec{S} = \oint_S \left(\sum_i \vec{E}_i \right) d\vec{S} = \sum_i \oint_S \vec{E}_i d\vec{S}$$

ëku

$$\Phi_E = \oint_S \vec{E} d\vec{S} = \oint_S E_n dS = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_{i=1}^n Q_i$$

Bu formula, **vakuumda elektrostatik maydon uchun Gauss teoremasini** ifodalaydi:

Istalgan berk sirt orqali o'tuvchi kuchlanganlik vektorining oqimi, shu sirt ichida joylashgan zaryadlar albeirik yig'indisining ϵ_0 ga bo'linganiga teng.

Zaryadlarni o'rganilayotgan fazoga kiritish, unda ko'chirish va undan chiqarib yuborish mumkin bo'lgani uchun ularni- **erkin zaryadlar** deb, hisoblaymiz.

Ular quyidagicha taqsimlanishi va shunga muvofiq elektrostatik maydon hosil qilishi mumkin:

1. **Nuqtaviy diskret zaryadlar shaklida** taqsimlanganda:

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

2. **Zaryadning belgilangan hajm bo'yicha uzluksiz, bir tekisda taqsimlanishi.** Bu holda zaryadning hajmiy zichligi e'tiborga olinadi:

$$\rho = dQ/dV \quad [\rho] = K\lambda / M^3$$

a) *Tekis taqsimlangan sferik sirtning maydoni* (4.1-4.2 -rasm).

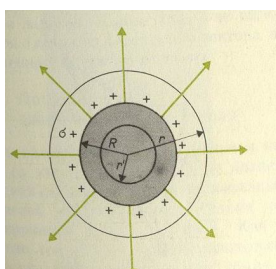
$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2} \quad (r \geq R)$$

$$E = 0 \quad (r' < R)$$

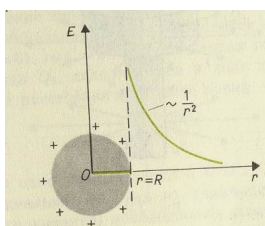
b) *Hajmiy zaryadlangan sharning maydoni* (4.3 -rasm)

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{R^3} r' \quad (r' \leq R)$$

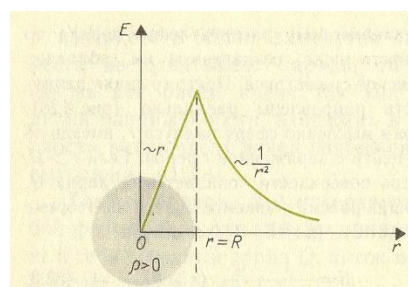
$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2} \quad (r' > R)$$



1



2



3

4-rasm

3. **Zaryadning o'tkazgich sirtida bir tekis taqsimlanishi.** Bunda zaryadning sirt zichligidan foydalaniladi:

$$\sigma = dQ/dS \quad [\sigma] = K\lambda / M^2$$

a) *Tekis zaryadlangan cheksiz tekislikning maydoni* (5a-rasm)

$$E = \sigma / (2\varepsilon_0)$$

b) *Tekis zaryadlangan ikki cheksiz, parallel tekisliklarning maydoni* (5b-rasm)

$$E = \sigma / \varepsilon_0$$

4. **Zaryadning uzun (tsilindrsimon) o'tkazgichlarda bir tekis taqsimlanishi.**

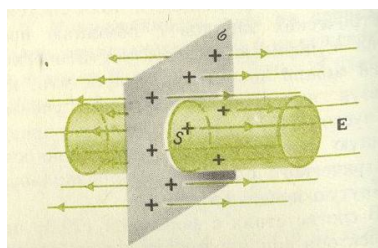
Bu holda zaryadning chiziqli zichligi e'tiborga olinadi:

$$\tau = dQ / dl \quad [\tau] = K\lambda / M$$

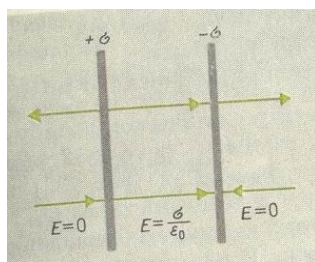
a) *Tekis zaryadlangan cheksiz tsilindr (sim)ning maydoni* (5v-rasm)

$$E = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{\tau}{r} \quad (r \geq R)$$

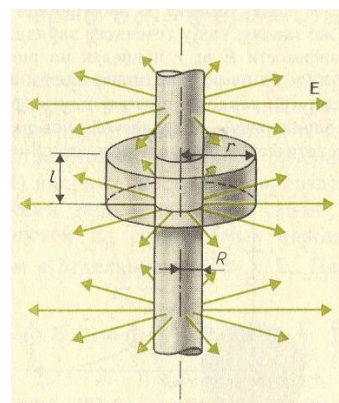
$$E = 0 \quad (r < R)$$



a)



b)



v)

5-rasm

Elektrostatik maydon potentsiali.

Elektrostatik maydonda zaryadni ko'chirishda bajariladigan ish

Kuchning potentsial maydonida joylashgan jism potentsial energiyaga ega bo'lib, shu energiya hisobiga ish bajarishi mumkin:

$$A_{12} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{QQ_0}{r_1} - \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{QQ_0}{r_2} = U_1 - U_2.$$

bundan, Q_0 zaryadning $-Q$ zaryad hosil qilgan maydonida egallaydigan **potentsial energiyasi** quyidagiga tengligi ma'lum bo'ladi:

$$U = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{QQ_0}{r} + C$$

Agar $r \rightarrow \infty$ da $U = 0$ ekanligini e'tiborga olinsa: $C = 0$

$$U = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{QQ_0}{r}$$

bunda $r - Q_0$ va Q zaryadlar orasidagi masofa.

Bir xil ishorali zaryadlar uchun $Q_0Q > 0$ va ular orasidagi o'zaro ta'sir potentsial energiyasi musbat, turli ishorali zaryadlar uchun esa $Q_0Q < 0$ va mos holda potentsial energiya ham manfiy bo'ladi.

Agar maydonni n ta nuqtaviy zaryad Q_1, Q_2, \dots, Q_n nuqtaviy zaryadlar hosil qilsa unda:

$$U = \sum_{i=1}^n U_i = Q_0 \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{4\pi\epsilon_0 r_i}$$

Zaryadlar tizimining o'zaro ta'sirlashuv energiyasi (potentsial energiya) esa :

$$U = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n Q_i \varphi_i$$

Elektrostatik maydonni energiya jihatidan xarakterlaydigan kattalikni potentsial deb ataladi:

$$\varphi = U / Q_0$$

U Q_0 zaryadga bog'liq bo'lmaydi, balki maydonning so'ralgan nuqtasiga joylashtirilgan musbat birlik zaryad egallaydigan potentsial energiyaning son qiymatini xarakterlaydi.

Vakuumba zaryad hosil qiladigan maydonning potentsiali quyidagicha:

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

Q_0 zaryadni 1 nuqtadan 2 nuqtaga ko'chirishda **elektrostatik maydon kuchlari bajaradigan ishni** aniqlaymiz:

$$A_{12} = U_1 - U_2 = Q_0(\varphi_1 - \varphi_2) = Q_0\Delta\varphi$$

bunda $\varphi_1 - \varphi_2 = \Delta\varphi$ - maydonning 1 va 2 nuqtalari orasidagi **potentsiallar farqi** deyiladi. U musbat birlik zaryadni 1 nuqtadan 2 nuqtagacha ko'chirishda bajariladigan ishning son qiymati bilan aniqlanadi.

$$A = \int_1^2 Q_0 \vec{E} d\vec{l} = Q_0 \int_1^2 \vec{E} d\vec{l}$$

yoki

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_1^2 \vec{E} d\vec{l} = \int_1^2 E_e dl$$

Elektrostatik maydon kuchlari bajaradigan ishning son qiymati zaryadning ko'chish traektoriyasiga bog'liq bo'lmaydi.

Agar Q_0 zaryadni maydon tashqarisi (cheksizlik) ga chiqarib yuborsak, $\varphi_2 = 0$

bo'ladi: $A_\infty = Q_0 \varphi$, bundan esa: $\varphi = \frac{A_\infty}{Q_0}$.

Maydon potentsiali – musbat, birik zaryadni berilgan nuqtadan cheksizlikka ko'chirishda bajariladigan ishni ko'rsatuvchi fizik kattalikdir.

$$[\varphi] = B = \mathcal{K} / K\lambda = B$$

Elektronni potentsiallar farqi $1V$ bo'lgan maydonda ko'chirishda bajariladigan ishga sarflanadigan energiyani **elektronvol't** deb ataymiz

$$1eV = 1,60 \cdot 10^{-19} J, \quad e = 1,60 \cdot 10^{-19} Kl,$$

Agar maydonni bir nechta zaryadlar hosil qilsa, unda natijaviy maydon potentsiali har bir zaryad potentsialining algebraik yig'indisi sifatida aniqlanadi:

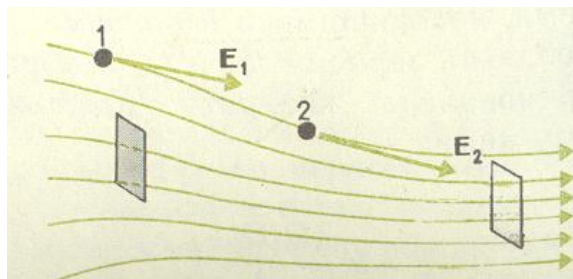
$$\varphi = \sum_{i=1}^n \varphi_i = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{r_i}$$

Mustaqil ta'limda o'rganish uchun material

Kuchlanganlik chiziqlari.

Elektrostatik maydonni grafik yordamida tasvirlash uchun **kuchlanganlik chiziqlaridan** foydalaniladi.

Bu har bir nuqtasiga o'tkazilgan urinma shu nuqtadagi maydon kuchlanganlik vektori bilan ustma - ust tushuvchi chiziqdir. Maydon kuchlanganligi har bir nuqtada faqat birgina yo'nalishga ega bo'lgani uchun ham kuchlanganlik chiziqlari kesishmaydi (1-rasm).



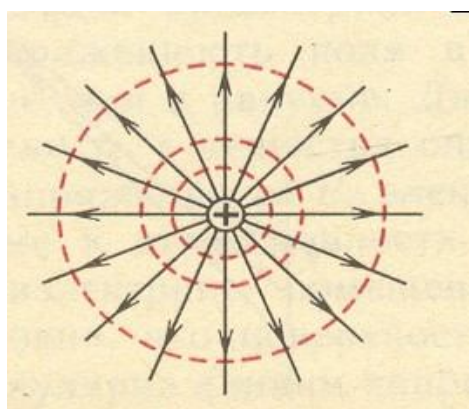
1-rasm

Bir jinsli maydonda kuchlanganlik chiziqlari kuchlanganlik vektoriga parallel bo'ladi. Agar maydonni nuqtaviy zaryadlar hosil qilsa, unda kuchlanganlik chiziqlari radial to'g'ri chiziqlardan iborat bo'ladi. (2 a,b - rasmlar)

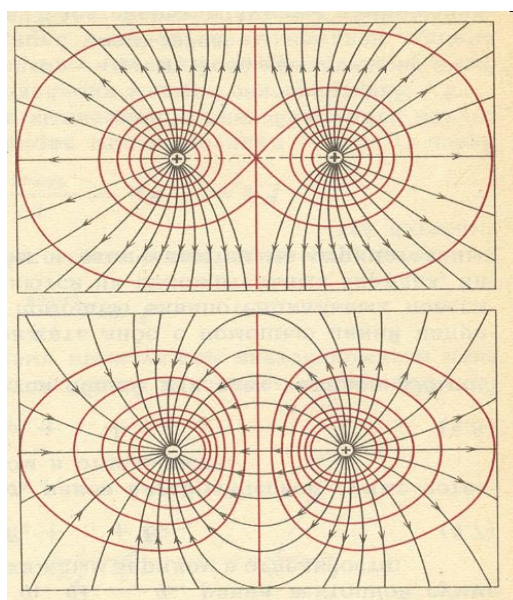
Kuchlanganlik chiziqlarining zichligi (quyuqligi)ni mos tarzda o'zgartirish orqali elektrostatik maydon kuchlanganligini miqdoriy xarakterlash mumkin. Buning uchun

$$d\Phi_E = \vec{E} d\vec{S} = E_n dS$$

formula bilan aniqlanuvchi va **kuchlanganlik vektori oqimi** deb ataluvchi fizik kattalik kiritiladi. Bunda $E_n = \vec{E} \cdot \vec{n}$ vektorning \vec{n} o'qidagi proektsiyasi, $d\vec{S} = dS \cdot \vec{n}$ \vec{n} -yuzaga o'tkazilgan normal'.



a



b

(2 a,b - rasmlar)

Istalgan berk sirt orqali o'tuvchi **kuchlanganlik vektorining oqimi** quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$\Phi_E = \oint_S E_n dS = \oint_S \vec{E} d\vec{S}$$

O'lchov birligi:

$$[\Phi_E] = B \cdot M$$

Dipol maydoni

Miqdor jihatdan teng, ishoralari qarama - qarshi bo'lgan ikki nuqtaviy zaryaddan tashkil topgan tizimga **elektr dipoli** deb aytiladi. Bunda zaryadlar orasidagi masofa maydonning o'rganiladigan nuqtalarigacha bo'lgan masofadan ancha kichik ($l \ll r$) bo'ladi.

Manfiy zaryaddan musbat zaryadga tomon yo'nalgan va ikkala zaryadni birlashtiruvchi chiziqda yotuvchi vektorni **dipolning elkasi** deyiladi.

$$\vec{P} = |Q| \vec{L}$$

\vec{P} – vektor dipol elkasi bilan bir xil yo'nalishga ega bo'ladi.

Uni

dipolning momeni deb yuritiladi. (3a-rasm)

Dipolning istalgan nuqtadagi maydon kuchlanganli \vec{E} superpozitsiya printsipiga muvofiq aniqlanadi.

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

- 1) Dipol o'qining davomidagi A nuqtadagi maydon kuchlanganligini aniqlaymiz.

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

$$\vec{E}_A = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \left[\frac{Q}{(r-l/2)^2} - \frac{Q}{(r+l/2)^2} \right]$$

Agar $l/2 \ll r$ ekanligini e'tiborga olsak:

$$\vec{E}_A = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{2Ql}{r^3} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{2P}{r^3}$$

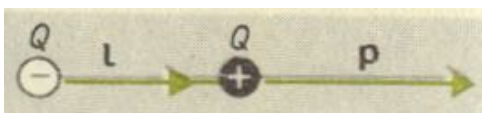
- 2) Dipol o'qining o'rtasidan o'tuvchi perpendikulyar chiziqning V nuqtasidagi maydon kuchlanganligini ko'rib chiqamiz.

$$E_+ = E_- = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{(r')^2 + l^2/4} \approx \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{(r')^2}$$

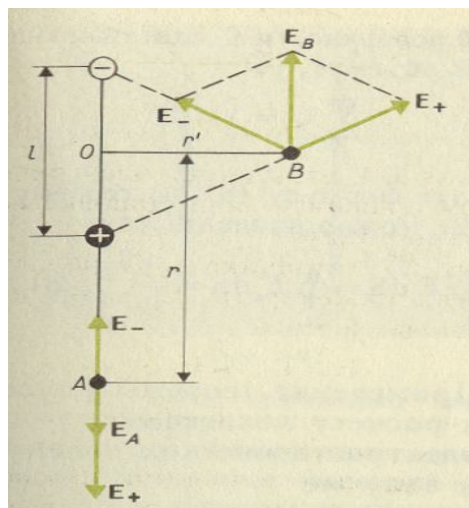
bunda $\frac{E_B}{E_+} \approx \frac{l}{r'}$ ekanligini e'tiborga olsak,

shunda
$$E_B = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Ql}{(r')^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{(r')^3}$$

\vec{E}_B va \vec{P} vektorlarning yo'nalishlari o'zaro teskari bo'ladi (3b – rasm).



3a – rasm



3b – rasm

Dipol maydonining istalgan nuqtasidagi kuchlanganlik esa

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{p}{r^3} \sqrt{1 + 3\cos^2 \nu}$$

bunda ν -dipol' o'qi bilan uning o'rtasi va berilgan nuqtani

birlashtiruvchi chiziq orasidagi burchak.

E-dipolni tashkil etuvchi zaryad (Q va $-Q$) ga emas, balki dipol' momenti $p = Ql$ ga bog'liq bo'ladi. Uning qiymati $1/r^3$ ga proporsional tarzda o'zgaradi.

Dipolning potentsiali

$$\varphi(r, \vartheta) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{P \cos \vartheta}{r^2}$$

Bu formulaga ko'ra, agar $\vartheta = \pi/2$ bo'lsa barcha r uchun potentsial 0 ga aylanadi.

Shunday qilib, Dipol' o'qiga perpendikulyar holda uning o'rtasidan o'tuvchi tekislikning barcha nuqtalardagi potentsial nolga teng bo'lar ekan.

Maydon potentsiali va kuchlanganligi orasidagi bog'lanish.

Ekvipotentsial sirtlar

Ma'lumki, kuch va potentsial energiya quyidagicha bog'langan:

$$\vec{F} = -\nabla U$$

Elektrostatik maydonda joylashgan zaryadli zarracha uchun:

$$\vec{F} = Q\vec{E} \quad \text{va} \quad U = Q\varphi$$

Yuqoridagilarni e'tiborga olsak:

$$\vec{E} = -\nabla\varphi = -\text{grad}\varphi$$

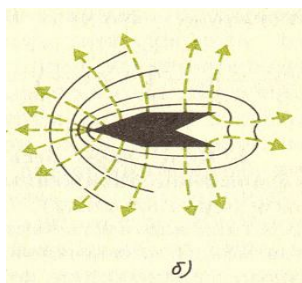
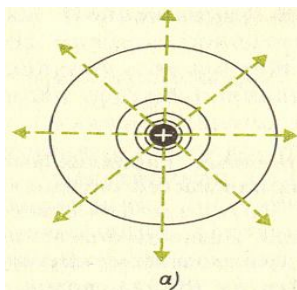
yoki

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

bunda $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ - x, y, z koordinata o'qlarining **birlik vektorlari**.

Maydon kuchlanganligi shu maydon potentsialining minus ishora bilan olingan gradientiga teng bo'ladi. Minus ishora esa kuchlanganlik vektori potentsialning kamayish tomoniga yo'nalganini anglatadi.

Elektrostatik maydon potentsialining taqsimotini **ekvipotentsial sirtlar** orqali ifodalanadi.



4 - rasm

Barcha nuqtalarida potentsial ayni bir qiymatga ega bo'ladigan sirtlarni- **ekvipotentsial sirtlar** deb ataymiz. Ular quyidagi shartni qanoatlantiradilar:

$$\varphi(x, y, z) = \text{const}$$

Kuchlanganlik chiziqlari doimo ekvipotentsial sirtga perpendikulyar bo'ladi (4 - rasm).

Potentsial bir xil bo'lgan uchun, zaryadni ekvipotentsial sirt bo'ylab ko'chirishda bajariladigan ish nolga teng bo'ladi:

$$A = \int_1^2 Q\vec{E} d\vec{l} = Q(\varphi_1 - \varphi_2) = 0 \quad \text{чунки} \quad \varphi_1 = \varphi_2$$

Har bir zaryad yoki zaryad tizimi atrofida cheksiz sondagi ekvipotensial sirtlarni tuzish mumkin. Biroq, odatda ularni istalgan ikki qo'shni ekvipotensial sirtlardagi potentsiallar farqi bir xil qiymatga teng bo'ladigan tarzda o'tkaziladi, ya'ni:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \varphi_2 - \varphi_3 = \dots = \varphi_n - \varphi_{n+1} = \text{const.}$$

Shunda, ekvipotensial sirtlarning quyuqligi turli nuqtalardagi maydon kuchlanganligining kattaligini xarakterlaydi. Chiziqlar zichroq bo'lgan joyda maydon kuchlanganligi ham kattaroq bo'ladi.

Elektrostatik maydon kuchlanganlik chiziqlarining joylashuvini bilgan holda, ekvipotensial sirtlarni tuzish mumkin va aksincha.

Maydon kuchlanganligi orqali potentsiallar farqini hisoblash mumkin:

1. Tekis zaryadlangan cheksiz tekislikning maydoni uchun:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_{x_1}^{x_2} E dx = \int_{x_1}^{x_2} \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} \cdot dx = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} (x_2 - x_1)$$

2. Turlicha ishorada zaryadlangan ikkita cheksiz, parallel tekisliklar maydoni uchun:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_0^d E dx = \int_0^d \frac{\sigma}{\varepsilon_0} dx = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} \cdot d$$

3. Tekis taqsimlangan sferik sirtning maydoni uchun ($r_1 > R, r_2 > R$).

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_{r_1}^{r_2} E dr = \int_{r_1}^{r_2} \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{Q}{r^2} dr = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

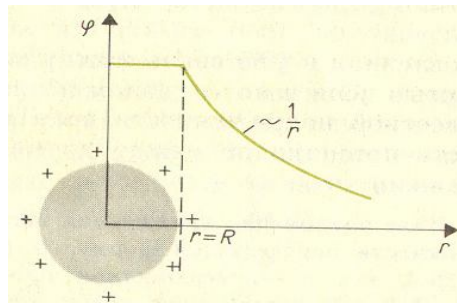
agar $r_1 = r$ va $r_2 = \infty$ deb olinsa:

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{Q}{r}$$

Sferik sirt ichida esa potentsial barcha nuqtalarda bir xil qiymatga ega:

$$\varphi = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 R}$$

φ ning r ga bog'liqlik grafigi 5-rasmda keltirilgan



5-rasm

4. Hajmiy zaryadlangan shar maydoni uchun:

a) agar ($r_1 > R, r_2 > R$) bo'lsa:
$$\varphi_2 - \varphi_1 = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \cdot \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

b) agar ($r_1 < R, r_2' < R$) bo'lsa:
$$\varphi_2 - \varphi_1 = \int_{r_1}^{r_2'} E dr = \frac{Q}{8\pi\epsilon_0 R^3} (r_2'^2 - r_1'^2)$$

5. Tekis zaryadlangan cheksiz tsilindr maydoni uchun:

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

Sinov savollari:

1. Zaryad nimani xarakterlaydi?
2. Zaryadning xossalarini 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 printsipi nimadan iborat?
10. Dipol' momentini tushuntiring?

2-Ma'ruza rejasi

- Kirish
- Dielektriklar va ularning qutblanishi
- Qutblanganlik.
- Dielektrlardagi elektr maydon
- Elektrik siljish.
- Elektr induksiya vektori

Mustaqil ta'lim

- Dielektrik turlari va ularning qutblanishi

Dielektriklar va ularning qutblanishi

*Elektr tokini o'tkazish qobiliyatiga ega bo'lmagan moddalarni **dielektriklar** deyiladi.*

Tabiatda ideal dielektriklar mavjud emas. Faqat vakuum (modda zarralari bo'lmagan fazoning bo'lagi) ideal dielektrik bo'la oladi. Amaldagi dielektriklar

o'tkazgichlarga nisbatan taxminan 10^{15} - 10^{20} marta kam elektr o'tkazuvchanlik namoyon qiladigan moddalardir. Ularni shartli uch guruhga ajratish mumkin:

Molekulalari simmetrik tuzilishga ega bo'lgan moddalar (N_2 , O_2 , CO_2 , CN_4 , . . .) birinchi guruhni tashkil etadi. Tashqi maydon bo'lmaganda, ulardagi musbat va manfiy zaryadlar joylashuvining simmetriya markazlari ustma-ust tushib, molekula dipol momentining nolga aylanishiga sababchi bo'ladi. Bunday dielektrlarning molekulalari **qutbsiz molekulalar** deb ataladi. Tashqi elektr maydoni ta'sirida qutbsiz molekulalardagi zaryadlar teskari tomon (musbatlari maydon bo'ylab, manfiylari esa teskari)ga siljib, molekula dipol momentiga ega bo'ladi.

Molekulalari asimmetrik tuzilishga ega bo'lgan moddalar (N_2 , H_2O , NH_3 , SO_2 , CO ) ikkinchi guruhni tashkil qiladi. Ulardagi musbat va manfiy zaryadlar joylashuvining simmetriya markazlari ustma-ust tushmaydi. Shuning uchun, bu molekulalar tashqi elektr maydoni yo'q bo'lgan holda ham dipol momentiga ega bo'ladilar. Bunday molekulalarni **qutbli molekulalar** deb ataladi. Biroq tashqi elektr maydonisiz xaotik issiqlik harakati tufayli natijaviy dipol momenti nolga aylanadi. Qutbli molekulalar tashqi elektr maydonining ta'siri tufayli dipol momenti oladilar.

Molekulalari ionli tuzilishga ega bo'lgan moddalar ($NaCl$, KCl , KBr , . . .) uchinchi guruhni tashkil etadi. Ionli kristallar ketma-ket, tartib bilan joylashuvchi, turli ishorali ionlardan tashkil topuvchi fazoviy panjaradir. Elektr maydon ta'sirida bu fazoviy panjara deformatsiyalanib, dipol momenti hosil bo'ladi. Shunday qilib, uchala guruh dielektrlari ham tashqi elektr maydoniga kiritilgandagina ular qutblana ekanlar.

*Dielektrikda dipol yo'nalishining o'zgarish jarayoni yoki dipollarning maydon bo'ylab joylashish hodisasiga **dielektrikning qutblanishi** deyiladi.*

Uch guruh dielektrlarga – uch turdagi qutblanish mos keladi:

- **elektronli** yoki **deformatsiyali qutblanish** bo'lib, unda, elektron orbitalarining deformatsiyasi hisobiga atomlarda induktsiyalangan magnit momentlari hosil bo'ladi.

- **yo'nalishlanuvchi** yoki **dipol qutblanish** bo'lib, unda molekula dipol momentlarining maydon bo'ylab joylashuvi kuzatiladi.
- **Ionli qutblanish** – *ionli kristall panjaralarda hosil bo'ladi.*

Qutblanganlik. Dielektrlardagi elektr maydon

Tashqi elektrostatik maydonga kiritilgan dielektrik egallaydigan dipol momentini aniqlaymiz:

$$\vec{P}_V = \sum_i \vec{P}_i$$

bunda P_i bitta molekulaning dipol momenti. Dielektrikning birlik hajmdagi dipol momentini ko'rsatuvchi vektor kattalik **qutblanganlik** deb aytiladi:

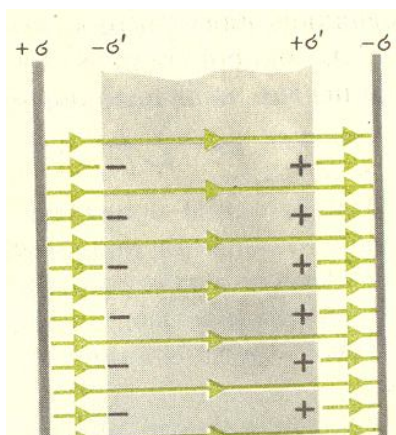
$$\vec{P} = \vec{P}_V / V = \sum P_i / V$$

Tajriba shuni ko'rsatadiki (segnetoelektrlardan boshqa) barcha dielektrlar uchun \vec{P} kutblanganlik \vec{E} maydon kuchlanganligiga chiziqli bog'liq bo'ladi:

$$\vec{P} = \chi \epsilon_0 \vec{E}$$

bunda χ - dielektrikning xossalarini xarakterlovchi, o'lchovsiz kattalik bo'lib, uni **moddaning dielektrik qabul qiluvchanligi** deb yuritiladi. Doimo $\chi > 0$ bo'ladi. (U, masalan spirt uchun $\chi \approx 25$, suv uchun esa $\chi \approx 80$ qiymatlarni qabul qiladi).

Dielektrikdagi maydonning miqdoriy qonunlarini xarakterlash uchun bir jinsli tashqi elektrostatik maydonga bir jinsli dielektrik plastinkani kiritamiz. Bunda turli ishorali zaryadlar bilan zaryadlangan ikkita cheksiz, o'zaro parallel tekislik hosil qiladigan maydon kuchlanganligi \vec{E}_0 ga teng. Maydon ta'sirida dielektrik qutblanadi. Dielektrikning o'ng qirrasida musbat zaryadlar, chap qirrasida esa manfiy zaryadlar to'planadilar



1-rasm

bunda $\sigma'_{\text{sa}} - \sigma'$ mos holda dielektrikning o'ng va chap qirralaridagi zaryadning sirt zichliklari. (1- rasm)

Dielektrikning qutblanishida hosil bo'luvchi kompensatsiyalashmagan zaryadlarni bog'langan zaryadlar deyiladi.

Ularning zichligi σ' tekisliklardagi erkin zaryad zichligi σ ga nisbatan kichik bo'lgani uchun yakuniy maydon to'la kompensatsiyalashmaydi. Kuchlanganlik chiziqlarining bir qismi dielektrik orqali o'tsa, qolgan qismi esa dielektrikdagi bog'langan zaryalarda uzilib qoladi. Dielektrikdan tashqarida $\vec{E} = \vec{E}_o$.

Bog'langan zaryadlar tufayli qo'shimcha \vec{E}' elektr maydoni hosil bo'lib, u tashqi maydonga teskari yo'naladi va uni kuchsizlantiradi. Dielektrik ichidagi natijaviy maydon:

$$\vec{E} = \vec{E}_o - \vec{E}'$$

$$E' = \sigma' / \epsilon_o$$

$$E = E_o - \sigma' / \epsilon_o$$

Bog'langan zaryadlarning sirt zichligini σ' aniqlaymiz.

$$P_v = PV = PSd$$

bunda S - plastinka qirrasining yuzasi, d -uning qalinligi. Boshqa tomondan:

$$P_v = Q'S = \sigma'Sd$$

yoki

$$PSd = \sigma'Sd$$

$$\sigma' = P$$

ya'ni, *bog'langan zaryadlarning sirt zichligi qutblanganlikka teng*

$$E = E_0 - \chi E \quad \text{bundan esa:}$$

Shunda

$$E = E_0 / (1 + \chi) = E_0 / \varepsilon$$

$\varepsilon = 1 + \chi$ o'lchovsiz kattalikni **muhitning dielektrik singdiruvchanligi** deb aytiladi:

$$\varepsilon = F_0 / F = E_0 / E$$

ε - dielektrikda maydon necha marta kamayishini ko'rsatadi.

Elektr siljish. Elektr induksiya vektori.

Dielektrikda elektrostatik maydon uchun Gauss teoremasi

$\vec{D} = \varepsilon_0 \varepsilon \vec{E}$ formula bilan aniqlanuvchi kattalikni **elektr induksiya vektori** deb aytmiz. U maydon kuchlanganligidan farqli ravishda barcha izotrop dielektriklar uchun doimiy hisoblanadi.

Elektr induksiya vektorini quyidagicha yozish ham mumkin:

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P} \quad [D] = \text{Kl} / \text{m}^2$$

Dielektrikdagi natijaviy maydonni kuchlanganlik vektori

E

xarakterlaydi, shuning uchun u dielektrik xossalari bog'liq bo'ladi. Elektr induksiya vektori esa erkin zaryadlar hosil qiladigan elektrostatik maydonni xarakterlaydi.

Biroq dielektrik hosil bo'luvchi bog'langan zaryadlar ularni hosil qiluvchi erkin zaryadlarning qayta taqsimlanishiga sababchi bo'lishi mumkin. Shuning uchun \vec{D} vakuum holatiga moslab olinadi.

\vec{D} ham xuddi \vec{E} singari induksiya chiziqlari va induksiya oqimining yo'nalishi va quyuqligi bilan ifodalanadi.

\vec{E} vektor chiziqlari istalgan zaryadlarda boshlanishi va tugashi mumkin, \vec{D} vektor chiziqlari esa faqat erkin (bog'liqmas) zaryadlarda boshlanib tugaydi.

Fazoning bog'langan zaryadlar joylashgan qismlaridan \vec{D} vektor chiziqlari uzilmasdan o'tadi.

Istalgan berk S yuzadan o'tuvchi \vec{D} vektor oqimi quyidagicha aniqlanadi:

$$\Phi_D = \oint_S \vec{D} d\vec{S} = \oint_S D_n dS$$

Dielektrikda elektrostatik maydon uchun Gauss teoremasi:

$$\Phi_D = \oint_S \vec{D} d\vec{S} = \oint_S D_n dS = \sum_{i=1}^n Q_i$$

Agar maydonni erkin va bog'langan zaryadlar hosil qilsa, zaryadni $\sum_i^n Q_i + \sum_i^n Q_{i\delta}$ shaklida olinadi.

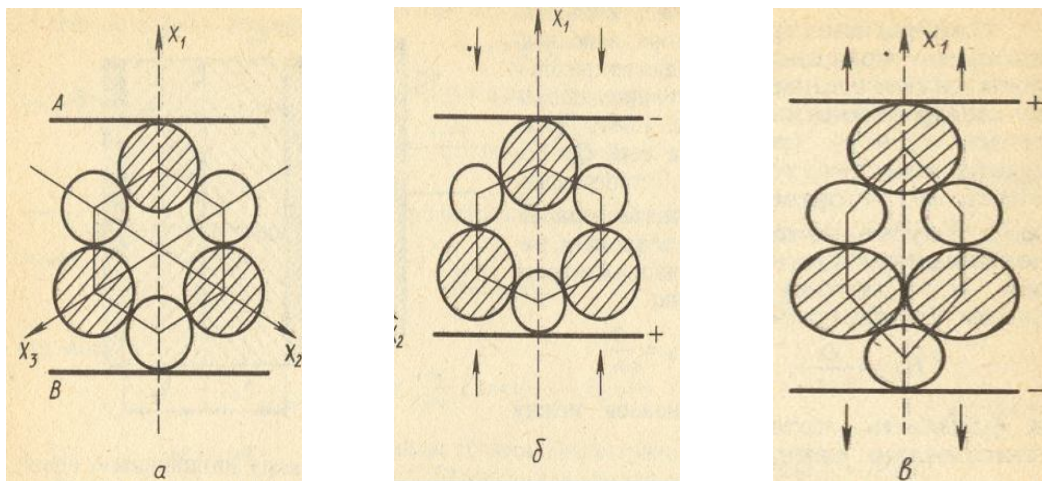
Mustaqil ta'lim uchun material

Dielektrik turlari va ularning qutblanishi

Tabiatda, elektrlanish hodisasi murakkab bo'lgan quyidagi dielektriklar turlari uchraydi:

1. **P'ezoelektriklar** – bu panjaralarida musbat va manfiy ionlar joylashgan kristallar bo'lib, ular ma'lum yo'nalishda deformatsiyalansa kristallning qirrasida deformatsiyaga perpendikulyar yo'nalishda **bog'langan sirt zaryadlar** hosil bo'ladi. Agar bu qirralarni metall qoplamalar bilan o'rasak, ularda bog'langan zaryad ishorasidagi erkin zaryadlar vujudga keladi. Qirralar orasida esa **potentsiallar farqi** paydo bo'ladi.

Klassik (ayni paytda muhim ahamiyatga ega bo'lgan) p'ezoelektriklardan biri kvarts (SiO_2)dir. Uning kristall panjarasining elementar yacheykasi kremniy ioni (musbat) va kislorod ioni (manfiy)dan tashkil topuvchi uch molekuladan iborat.



1 – rasm

Ularning o'zaro joylashishi sxematik tarzda 1a – rasmda ko'rsatilgan. Bunda yuziga chiziq tortilgan doiralar musbat ionga, oqlari esa manfiy ionga mos keladi.

Kristall x_1 o'qi bo'ylab siqilsa, yacheykaning simmetriyasi buziladi (1b - rasm). Kristallning yuqori qirrasida bog'langan manfiy zaryad, pastkisida esa shunday miqdordagi musbat zaryad hosil bo'ladi. Cho'zilganda esa (1v - rasm) zaryadlarning ishorasi teskarisiga o'zgaradi.

Zaryadning sirt zichligi σ (shuningdek $|\vec{P}|$) – kichik nisbiy deformatsiya chegarasida kristallda hosil bo'luvchi mexanik kuchlanish E_m ga to'g'ri proporsional bo'ladi.

$$\sigma = P = d \cdot E_m$$

bunda d - propotsionallik koeffitsienti bo'lib, uni **p'ezomodul** deb ham yuritiladi. $[d] = Kl/H$. Kvarts uchun $d = 2 \cdot 10^{-12} Kl/H$ ga teng.

P'ezoeffekt 1880 yilda aka – uka P'er va Jolio Kyurilar tomonidan ochilgan. Teskari effekt ham mavjud:

Kristallga elektr kuchlanishi berilsa u deformatsiyalanadi, deformatsiyaning ishorasi tashqi elektrostatik maydonning yo'nalishiga bog'liq bo'ladi.

Aytaylik, kristallda $E_m = 10^4 Pa$ mexanik kuchlanish hosil qilindi. Bunda paydo bo'luvchi zaryadlarning zichligi $\sigma = 2 \cdot 10^{-8} Kl/m^2$ ga teng bo'ladi hamda kristallda ($\epsilon = 4,5$) bunyod bo'lgan elektrostatik maydon kuchlanganligi quyidagiga aniqlanadi:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon\varepsilon_0} = 500B/M;$$

Agar kristall qalinligi $h = 10^{-2}M$ bo'lsa, undagi qirralarning qoplamlarida $U = 5B$ kuchlanish olamiz.

P'ezokristallar bosimni o'lchashda qo'llaniladi, shuningdek mikrofonlarda (to'g'ri effekt) va telefonlarda (teskari effekt) foydalaniladi.

2. **Piroelektriklar.** Ba'zi p'ezokristallarning temperaturasi o'zganganida ularda bog'langan zaryadlar hosil bo'ladi. Bu effektning tabiati quyidagicha:

Piroelektrik undagi turli ishorali ionlarning nosimmetrik joylashuvi tufayli o'z-o'zidan (spontan ravishda) hosil bo'luvchi qutblanishga ega bo'ladi.

Temperatura o'zganganida qutblanish ham o'zgaradi, bu esa o'z navbatida kristall sirtida bog'langan zaryadlarning paydo bo'lishiga olib keladi. Turmalin piroelektriklarga yaqqol misol bo'la oladi. Uning temperaturasi $1^{\circ}S$ o'zganganida har metriga yuzlab vol't tushuvchi kuchlanganlik paydo bo'ladi. Piroelektriklar texnikada turli nurlanishlarni qabul qiluvchi qurilmalarda ishlatiladi.

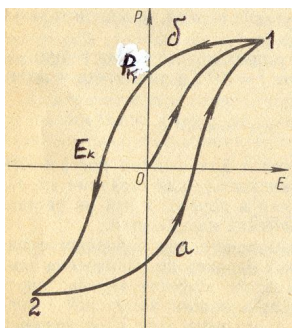
3. **Elektretlar.** Agar qutbli dielektrikni eritib, eritmani kuchli elektrostatik maydonga joylashtirsak, shunda uning dipollari qisman buzilmay saqlanib qoladi. Qotayotgan moddadagi dipollarning burilishi qovushqoqlik tufayli qiyinlashganligi bois shunday bo'ladi. Qutblanganligini uzoq vaqt (bir necha kundan bir necha yilgacha) saqlaydigan elektretlar ana shu tarzda olinadi. Ular texnikaning turli sohalarida doimiy elektr maydon manbalari sifatida ishlatiladi.

4. **Segnetoelektriklar.** Segnetoelektriklar uchun xarakterli bo'lgan xususiyatlar quyidagilardan iborat:

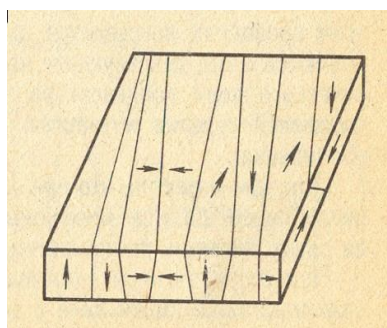
- Segnetoelektriklarning dielektrik singdiruvchanligi nihoyatda katta qiymatlarga ega bo'ladi. Masalan, segnet tuzi uchun $\varepsilon = 10000$, bariy titanati uchun $\varepsilon = 7000$.
- Segnetoelektriklarning dielektr singdiruvchanligi tashqi maydon kuchlanganligiga bog'liq. Shuning uchun qutblanish vektori \vec{P} ning \vec{E} ga bog'liqligi chiziqli emas.

- Segnetoelektriklarning qutblanish vektori \vec{P} ning qiymati bu segnetoelektrik dastlab qanday sharoitda bo'lganligiga ham bog'liq. Masalan, 2 – rasmda \vec{E} ning bir xil qiymatiga \vec{P} ning uch xil qiymati to'g'ri kelyapti.

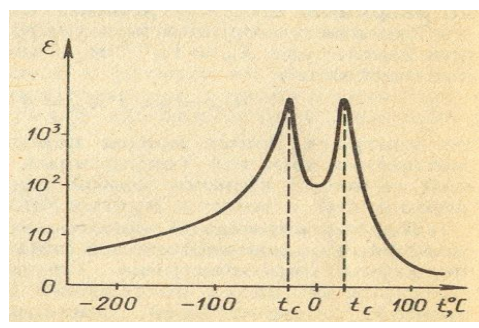
Segnetoelektriklarning bu xarakterli xususiyatlari ularda **domenlar** deb ataluvchi spontan (o'z - o'zidan) qutblanish sohalari mavjudligi bilan tushuntiriladi. Tashqi elektr maydon ta'sir etmaganda ham domenlar tarkibidagi barcha dipollar bir tomonga yo'nalgan bo'ladi. Lekin turli domenlarning elektr momentlari tartibsiz yo'nalganligi uchun bir – birini kompensatsiyalaydi. Shuning uchun segnetoelektrik parchasi qutblanmagan bo'ladi (2 - rasm). Tashqi elektr maydon ta'sirida har bir domendagi barcha dipollar xuddi yaxlit dipoldek maydon yo'nalishiga mos ravishda joylashadi. Tashqi elektr maydonning biror qiymatida barcha domenlar maydon yo'nalishiga moslashadi, natijada qutblanish vektorining to'yinishi sodir bo'ladi. Agar elektr maydonni kamaytirib bersak, P ning kamayishi (182) egri chiziq bo'yicha ro'y beradi.



2 – rasm



3 – rasm



4 - rasm

$E = 0$ da segnetoelektrikda qutblanish P_k ga teng bo'ladi. Bu qiymat **qoldiq qutblanish** deb ataladi. Qoldiq qutblanish butunlay yo'qotish uchun segnetoelektrikka teskari yo'nalishdagi E_k maydon ta'sir etishi kerak. Maydonning bu qiymati **koertsitiv kuch** deb ataladi. E ni davriy ravishda o'zgartirsak, segnetoelektrikdagi P ning o'zgarish grafigi **gisterezis sirtmog'i** (1821) deb ataluvchi berk egri chiziqdan iborat bo'ladi.

Segnetoelektriklarning bu ajoyib xususiyatlari faqat har bir segnetoelektrik uchun xos bo'lgan temperaturalar oralig'ida namoyon

bo'ladi. Bu temperaturalarni **Kyuri nuqtalari** deyiladi. Masalan, segnet tuzi ($KNC_4H_4O_6 + 4H_2O$)ning Kyuri nuqtalari - $18^{\circ}C$ va $24^{\circ}C$ ga teng (4 - rasm).

Sinov savollari:

1. Birinchi va ikkinchi gurux dielektriklari orasidagi asosiy farq nimadan iborat?
2. Uchchala gurux dielektriklari qanday umumiy xususiyatga ega?
3. Qutblanishni ta'riflang va tushuntirib bering?
4. Qutblanish turlarini ayting?
5. Qutblanganlik nima? Uning yo'nalishi qanday aniqlanadi?
6. Bog'langan zaryadlar nima va u qanday xosil bo'ladi?
7. Elektr siljish vektorini tushuntiring?
8. Dielektrikda elektrostatik maydon uchun Gauss teoremasini ta'riflang?
9. Ikki dielektrikning ajralish chegarasida \vec{E} va \vec{D} vektorlar uchun o'zgarish shartlarini yozib, uni tushuntirib bering?
10. Segnetoelektrlarni tushuntiring?

3-Ma'ruza rejasi

- Kirish
- Elektrostatik maydonda joylashgan o'tkazgichlar
- Yakkalangan o'tkazgichlarning elektr sig'imi
- Kondensator va uning sig'imi
- Kondensatorlarni parallel va ketma-ket ulash
- Elektrostatik maydon energiyasi va uning hajmiy zichligi

Mustaqil ta'lim

- Kondensatorlarni parallel va ketma-ket ulash

Elektrostatik maydonda joylashgan o'tkazgichlar.

O'tkazgichdagi zaryad tashuvchilar har qanday kichik kuch ta'sirida ham ko'chish imkoniyatiga ega bo'ladilar. Shu sababli, o'tkazgichdagi zaryadlar muvozanatda bo'lishi uchun quyidagi shartlarning bajarilishi talab etiladi:

1. O'tkazgichning ichidagi barcha nuqtalarda maydon kuchlanganligi nolga teng bo'lishi lozim.

$$\vec{E} = 0 \quad \text{va demaku:} \quad \varphi_{\text{uchk}} = \text{const.}$$

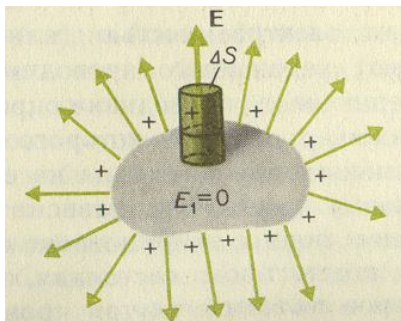
2. O'tkazgich sirtining har bir nuqtasidagi maydon kuchlanganligi shu nuqtaga o'tkazilgan normal yo'nalishida bo'lishi kerak.

$$\vec{E} = \vec{E}_n, \quad \text{яъни} \quad \varphi_{\text{cupm}} = \text{const}$$

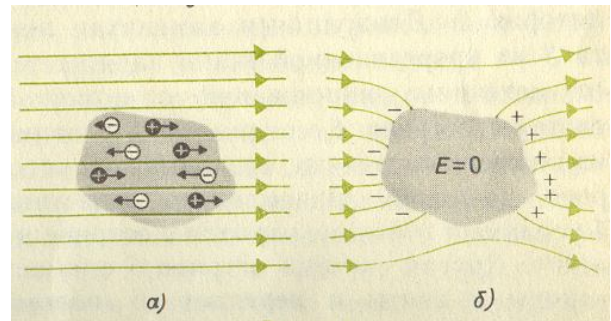
Darhaqiqat, o'tkazgichda berilgan Q zaryad faqat uning sirtida joylashadi. Bu hol **Gauss teoremasidan** kelib chiqadi:

$$Q = \oint_S \vec{D} d\vec{S} = \oint_S D_m dS = 0$$

Chunki o'tkazgich ichki nuqtalarining barchasida $D=0$ bo'ladi.



1 – rasm



2 – rasm

Zaryadlangan o'tkazgich sirti yaqinidagi maydon kuchlanganligi bilan o'tkazgich zaryadlarining sirt zichligi orasidagi bog'lanishni aniqlaymiz.

Buning uchun o'tkazgich dielektrik chegarasini kesib o'tuvchi, ΔS asosga ega bo'lgan juda kichik tsilindr olamiz.

Silindrning o'qini $\vec{E}_1(\vec{D}_1) = 0$ bo'ylab joylashtiramiz. O'tkazgich ichidagi oqim nolga teng bo'ladi (1- rasm).

Gauss teoremasiga binoan tashqi oqim esa quyidagiga teng:

$$\begin{aligned} D\Delta S &= \sigma\Delta S \\ D &= \sigma & D &= \varepsilon_0\varepsilon E \\ \text{ëku} & E &= \sigma / (\varepsilon_0\varepsilon) \end{aligned}$$

bunda σ - o'tkazgichdagi zaryadlarning sirt zichligi, ε - o'tkazgichni o'rab turuvchi muhitning dielektrik singdiruvchanligi.

Agar tashqi elektrostatik maydonga neytral o'tkazgich kiritilsa, undagi erkin zaryadlar (elektronlar, ionlar) harkatga kelib, musbatlari maydon bo'ylab va manfiylari esa maydonga teskari tarzda joylashadilar (2a-rasm). Natijada o'tkazgichning bir tomonida musbat, ikkinchisida manfiy zaryadlar to'planadi. Bu zaryadlarni **induksiyalangan zaryadlar** deyiladi.

Zaryadlarning qayta taqsimlanib, joylashish jarayoni muvozanat sharti bajarilgunga qadar davom etadi. Shunday qilib, elektrostatik maydonga kirilgan neytral o'tkazgich maydon kuchlanganlik chiziqlarining bir qismini uzib tashlaydi. Kuchlanganlik chiziqlari induktsiyalangan zaryadlarning manfiysida tugab, musbatida yana yangidan boshlanadi (2b-rasm).

Tashqi elektrostatik maydonda joylashgan o'tkazgichdagi sirt zaryadlarining qayta taqsimlanish hodisasini **elektrostatik induksiya hodisasi** deyiladi.

Maydon ta'sirida zaryadlarning siljishi tufayli o'tkazgichda induktsiyalangan zaryadlar hosil bo'ladi, ya'ni σ - siljigan zaryadlarning sirt zichligidir. $D = \sigma$ bo'lgani uchun \vec{D} vektorni **siljish vektori** deb ataymiz.

Yakkalangan o'tkazgichning elektr sig'imi

Agar biror o'tkazgich-boshqa o'tkazgich, jism va zaryadlardan uzoqda joylashgan bo'lsa, uni **yakkalangan o'tkazgich** deb qaraymiz. Uning potentsiali-zaryadiga to'g'ri proporsional ekanligini bilamiz. Lekin tajriba bir xil zaryadlangan turli o'tkazgichlarning turlicha potentsial olishini ko'rsatadi.

$$\varphi - Q \quad \text{ёки} \quad Q = C\varphi \quad \text{бундан} \quad C = \frac{Q}{\varphi}.$$

C – kattalikni yakkalangan o'tkazgichning **elektr sig'imi** deb ataladi. U o'tkazgichning potentsialini bir birlikka oshirish uchun lozim bo'ladigan zaryadni ko'rsatishga xizmat qiladi.

O'tkazgichning sig'imi uning shakli, o'lchamlari va qaysi muhitda joylashganiga bog'liq bo'ladi, lekin o'tkazgichning qanday materialdan tayyorlanganligiga, materialning agregat holatiga, o'tkazgichning zaryadi va potentsialiga bog'liq bo'lmaydi.

$$[C] = \Phi(\text{farada}) \quad \Phi = Кл / В$$

Dielektrik singdiruvchanligi ϵ bo'lgan, bir jinsli muhitda joylashgan yakkalangan sharning potentsiali quyidagiga teng edi:

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{\epsilon R}$$

Bundan esa sharning sig'imini aniqlash mumkin.

$$C = 4\pi\epsilon_0\epsilon R$$

Demak, sig'imi 1F bo'ladigan sharning radiuci $R = C / (4\pi\epsilon_0) = 9 \cdot 10^6 \text{ км} = 1400R_{Ep}$ ekanligi ma'lum bo'ladi. Er sharining elektr sig'imi $C \approx 0,7 \text{ мФга}$ тенг. Shu sababli, o'tkazgichlarning sig'imi odatda faradaning ulushlari bilan ifodalandi:

$$\begin{array}{ll} 1\text{мФ} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Ф} - \text{миллифарада} & 1\text{нФ} = 1 \cdot 10^{-9} \text{ Ф} - \text{нанофарада} \\ 1\text{мкФ} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ Ф} - \text{миллифарада} & 1\text{пФ} = 1 \cdot 10^{-12} \text{ Ф} - \text{пикофарада} \end{array}$$

Kondensator va uning sig'imi

O'zining kichik geometrik o'lchamlari va shuningdek, atrofidagi jismlarga solishtirganda unchayam katta bo'lmagan potentsialiga qaramay o'zida ulkan miqdordagi zaryadni to'play oladigan qurilmani **kondensator** deyiladi.

U dielektrik bilan ajratilgan ikki o'tkazgich (qoplama)dan iborat. Qoplamalarining shakliga ko'ra kondensatorlar **yassi**, **tsilindrik** va **sferik** turlarga bo'linadi.

Maydon kondensator ichida hosil bo'lgani uchun, kuchlanganlik chiziqlari bir qoplamada boshlanib, ikkinchisida tugaydi. Shu sababli, ikki qoplamada hosil bo'luvchi erkin zaryadlar miqdor jihatdan teng va ishoralari esa teskari bo'ladi.

Kondensatorning sig'imi quyidagicha teng:

$$S = Q/(\varphi_1 - \varphi_2)$$

1. Yassi kondensator uchun:

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon S/d$$

2. Silindrik kondensator uchun:

$$S = 2\pi\varepsilon_0\varepsilon l/\ln(r_2/r_1)$$

3. Sferik kondensator uchun

$$C = 4\pi\varepsilon_0\varepsilon \frac{r_1 r_2}{r_2 - r_1}$$

bunda S - qoplama yuzasi, d - qoplamalar orasidagi bo'shliq, l -kondensator uzunligi, r_1 va r_2 – mos holda tashqi va ichki qoplama radiuslari.

Elektrostatik maydon energiyasi va uning hajmiy zichligi

1. Qo'zg'almas, nuqtaviy zaryadlar tizimining energiyasi.

Elektrostatik o'zaro ta'sirlashuv kuchlari konservativdir, shu sababli zaryadlar tizimi potentsial energiyaga ega bo'ladilar.

Shu energiyani aniqlaymiz:

Bir-biridan r masofada joylashgan Q_1 va Q_2 zaryadlar tizimining potentsial energiyasini va maydon potentsialini ko'rib chiqamiz:

$$W_1 = Q_1 \varphi_{12} \qquad W_2 = Q_2 \varphi_{21}$$

$$\varphi_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q_2}{r} \qquad \text{va} \qquad \varphi_{21} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q_1}{r}$$

$$W = \frac{1}{2}(Q_1 \varphi_{12} + Q_2 \varphi_{21})$$

yoki

$$W = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n Q_i \varphi_i$$

bunda φ_i Q_i zaryad joylashgan nuqtada Q_i -zaryaddan tashqari barcha zaryadlar hosil qiladigan yakuniy maydon potentsiali

2. Yakkalangan zaryadli o'tkazgichning energiyasi.

Jismni 0 dan φ potentsialgacha zaryadlash uchun bajariladigan ishni aniqlaymiz:

$$A = \int_0^{\varphi} \varphi dQ = \int_0^{\varphi} C \varphi d\varphi = C \varphi^2 / 2 = W$$

$$W = C \varphi^2 / 2 = Q \varphi / 2 = Q^2 / (2C)$$

3. Zaryadlangan kondensatorning energiyasi

$$W = C(\Delta\varphi)^2 / 2 = Q\Delta\varphi / 2 = Q^2 / (2C)$$

bunda Q – kondensator zaryadi, S - uning sig'imi, $\Delta\varphi$ - qoplamalari orasidagi potentsiallar farqi. Kondensator qoplamalari orasidagi mexanik (ponderomotor) kuchni ham bilish mumkin:

Agar qoplamalar orasidagi masofa dx miqdorga o'zgarsa, dA miqdorda ish bajariladi:

$$dA = F dx$$

Potentsial energiya kamayish hisobiga bo'lgani uchun

$$F dx = -dW \quad \text{ëku} \quad F = -\frac{dW}{dx}$$

$$W = \frac{Q^2}{2C} = \frac{Q^2}{2\epsilon_0 \epsilon S} x$$

$$F = -\frac{dW}{dx} = -\frac{Q^2}{2\epsilon_0 \epsilon S}$$

bundagi minus ishora F kuch tortishish kuchi ekanligini bildiradi.

4. Elektrostatik maydon energiyasi.

$$W = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2} Sd = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2} V$$

bu da $V = Sd$ kondensator hajmi.

Elektrostatik maydon energiyasining hajmiy zichligi:

$$\omega = W / V = 2\varepsilon_0 \varepsilon E^2 / 2 = ED / 2$$

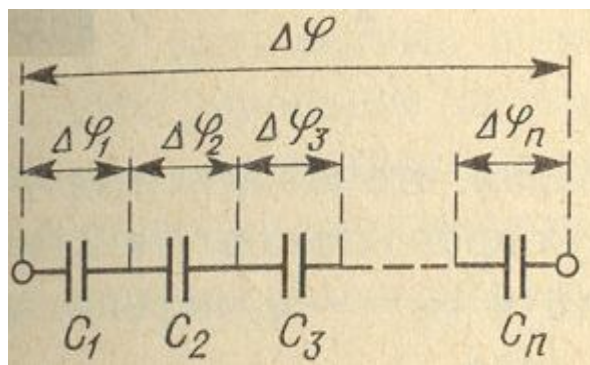
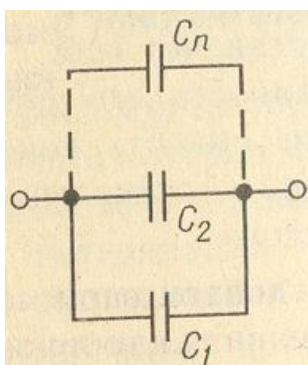
Bu ifoda faqat $\vec{p} = \chi \varepsilon_0 \vec{E}$ munosabat bajariluvchi izotrop muhitlar uchungina o'rinli bo'lishini ta'kidlab o'tamiz.

Mustaqil ta'limda o'rganish uchun material

Kondensatorlarni parallel va ketma-ket ulash

Elektr sig'imini oshirish va yoki sig'imni ma'lum bir oraliqda kombinatsiyalab o'zgartirish uchun kondensatorlarni ketma-ket yoki parallel ulab, batareyalar hosil qilinadi.

1. Kondensatorlar parallel ulanganda, ularning qoplamalaridagi potentsiallar farqi $\varphi_A - \varphi_B$ barcha kondensatorlar uchun bir xil bo'ladi. (1 - rasm)



Agar har bir kondensatorning sig'imini mos holda C_1, C_2, \dots ekanligini e'tiborga olsak, unda zaryadlarni aniqlash mumkin:

$$+ \begin{cases} Q_1 = C_1 (\varphi_A - \varphi_B) \\ Q_2 = C_2 (\varphi_A - \varphi_B) \\ \cdot \\ \cdot \\ Q_n = C_n (\varphi_A - \varphi_B) \end{cases}$$

$$Q = \sum_{i=1}^n Q_i = (C_1 + C_2 + \dots + C_n) (\varphi_A - \varphi_B)$$

Parallel ulangan kondensatorlarning to'liq sig'imi esa:

$$C = Q / (\varphi_A - \varphi_B) = C_1 + C_2 + \dots + C_n = \sum_{i=1}^n C_i$$

2. Kondensatorlar ketma-ket ulanganda barcha qoplamalardagi zaryadlar miqdor jihatdan teng, bo'lib ularning uchlaridagi potentsiallar farqi esa, quyidagicha ifodalanadi: (2-rasm).

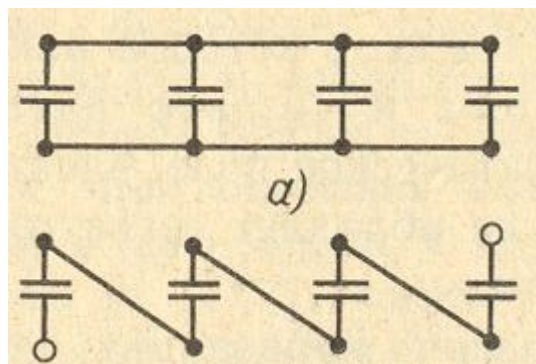
$$\Delta\varphi = \sum_{l=1}^N \Delta\varphi_l$$

Har bir kondensator uchun $\Delta\varphi_1 = Q / C_1$

Shuningdek $\Delta\varphi = Q / C = Q \sum_{l=1}^N (1 / C_l)$

Bunda esa $1 / C = \sum_{l=1}^N (1 / C_l)$ ekanligi kelib chiqadi.

3. Har birining elektr sig'imi S bo'lgan, bir xildagi n dona kondensator o'zaro parallel holda ulanadi hamda ularga potentsiali $\Delta\varphi$ bo'lgunga qadar zaryad beriladi. So'ngra esa ularni zaryadlangan holda o'zaro ketma – ket ulanadi. Shunda batareya qisqichlarida hosil bo'lgan potentsiallar farqi $n \cdot \Delta\varphi$ ga teng bo'lib qoladi. **Yuqori vol'tli impul'sli generatorlarning** ishlash printsipti shunga asoslanadi. U bir necha megavol't potentsiallar farqi olish imkonini beradi (3- rasm).



Sinov savollari:

1. O'tkazgichga berilgan zaryad faqat uning sirtida joylashishini isbotlang?
2. O'tkazgichdagi zaryadlarning muvozanat shartlari nimadan iborat?
3. Nima sababdan $\varphi = const$ bo'lsa $E(\varphi) = 0$ bo'ladi?
4. Indutsiyalangan zaryadlarni hosil bo'lish mexanizmini tushuntirib bering?
5. O'tkazgichning elektr sig'imi nimalarga bog'liq?
6. Nima sababdan o'tkazgichning sig'imi uning zaryadi va potentsialiga bog'liq bo'lmaydi?
7. Kondensator nima? Uning turlarini va mos xoldagi sig'imlarini ayting?
8. Kondensatorlarni parallel ulaganda sig'im qanday o'zgaradi? Bunda qaysi fizik kattalik o'zgarmay qoladi?
9. Kondensatorlarni ketma-ket ulaganda natijaviy sig'im qanday bo'ladi. Yuqorivol'tli impul'sli generatorning ish printsipini tushuntiring?
10. Elektrostatik maydon energiyasini va uning xajmiy zichligini ifodalovchi formulalarini yozib, asoslab bering?

4-Ma'ruza rejasi

- Kirish
- Elektr toki. Tok kuchi va uning zichligi
- Tashqi kuchlar. Elektr yurituvchi kuch va kuchlanish
- Om qonuni va uning integral hamda differentsial ko'rinishidagi ifodasi. O'tkazgichlar qarshiligi
- Tokning ishi va quvvati. Joul'-Lents qonuni
- Zanjirning bir jinslimas qismi uchun Om qonuni

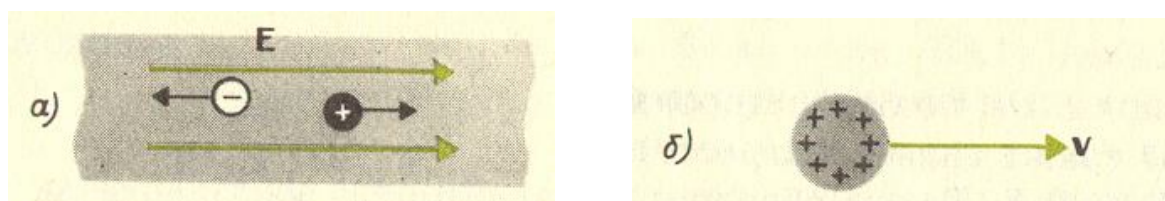
Mustaqil ta'lim:

- O'ta o'tkazuvchanlik hodisasi
- Zanjirning tarmoqlangan qismi uchun Kirxgof qoidalari

O'zgarmas elektr toki

Elektr toki. Tok kuchi va uning zichligi

Tartiblangan holda, yo'nalish olib harakatlanuvchi zaryadlar oqimini **elektr toki** deyiladi. Elektr maydon ta'siri ostida o'tkazgichdagi erkin zaryadlar harakatlanib, musbatlari maydon bo'ylab, manfiylari esa teskari yo'nalishda siljiy boshlaydilar. Buni **o'tkazuvchanlik toki** deb ataymiz. O'tkazuvchanlik toki elektr maydonining ta'siri ostida hosil bo'ladi. Bu holda, o'tkazgichdagi zaryadlarning (elektrostatik) taqsimot muvozanati buziladi uning sirti va hajmi sohalari ekvipotentsial bo'lmay qoladi. O'tkazgichning ichida elektr maydoni paydo bo'ladi, uning sirtidagi maydon kuchlanganligining urinma tashkil etuvchisi esa $\vec{E} \neq 0$ bo'ladi. O'tkazgichdagi zaryad taqsimoti uning barcha nuqtalari ekvipotentsial holga kelmaguncha davom etadi. Agar tok fazodagi zaryadli makroskopik jismlarning siljishi tufayli hosil bo'lsa, uni **konvektsiya toki** deb yuritimiz.



1-rasm

Elektr tokining hosil bo'lishi va barqaror turishi uchun eng avvalo erkin siljiy oladigan zaryadli zarrachalar bo'lishi, so'ngra esa ularni energiya bilan doimiy ta'minlab turuvchi elektr maydoni mavjud bo'lishi lozim. Elektr tashuvchi zaryadli zaryadlar quyidagilardan iborat:

- Metallarda erkin elektronlar;
- Elektrolitlarda musbat va manfiy zaryadli ionlar;
- Gazlar va plazmada ionlar va elektronlar;
- Yarimo'tkazgichlarda elektronlar va tirqishlar;

Tokning yo'nalishi sifatida shartli ravishda musbat zaryadlarning harakat yo'nalishi qabul qilingan.

Elektr tokini miqdoriy jihatdan xarakterlash uchun **tok kuchi** degan skalyar fizik kattalik kiritiladi. *Baqt birligi ichida o'tkazgichning ko'ndalang kesim yuzasidan oqib o'tuvchi zaryad miqdorini aniqlovchi kattalikni tok kuchi deb ataymiz.*

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

Agar vaqt o'tishi bilan tokning son qiymati va yo'nalishi o'zgarmasa uni o'zgarmas tok deyiladi.

$$I = dQ/dt \quad \text{agar } I = \text{const bo'lsa, } I = Q/t$$

Tok kuchining o'lchov birligi $[I] = A(\text{amper})$

O'rganilayotgan sirtning turli nuqtalaridagi tok yo'nalishini va tok kuchining shu sirt bo'yicha taqsimlanishini xarakterlash uchun tok zichligi deb ataluvchi kattalik kiritiladi:

O'tkazgichning birlik ko'ndalang kesim yuzasidan o'tuvchi tok kuchining son qiymatini ko'rsatuvchi vektor fizik kattalikni tok zichligi deyiladi.

$$j = \frac{dI}{dS_{\perp}}, \quad I = \frac{dQ}{dt} = ne \langle \mathcal{G} \rangle S$$

Shunda, tok zichligi:

$$\vec{j} = ne \langle \vec{\mathcal{G}} \rangle$$

Bunda $\langle \mathcal{G} \rangle$ - o'tkazgichdagi zaryadlar tartibli harakatining o'rtacha arifmetik tezligi, n - tok tashuvchi zarrachalar konsentratsiyasi; e -elementar zaryad.

Tok zichligining o'lchov birligi: $[j] = A/m^2$.

Istalagan S sirt orqali o'tuvchi tok kuchi j vektorning oqimi sifatida aniqlanadi:

$$I = \int_s j dS$$

bunda $\vec{dS} = \vec{n} dS$ ($\vec{n} - dS$ юзага утказилган бирлик нормал вектор)

Agar S berk sirt bo'ylab, \vec{dS} vektor hamma joyda tashqi \vec{n} normal bo'yicha o'tkazilgan bo'lsa; unda: $dQ = -Idt$. $\oint \vec{j} d\vec{S} = -\frac{dQ}{dt}$

Bu tenglamani **uzilmaslik tenglamasi** deyiladi. Agar tok o'zgarmas bo'lsa, zaryad $Q=const$ va $\oint \vec{j}d\vec{S}=0$ shart bajariladi.

Tashqi kuchlar. Elektr yurituvchi kuch va kuchlanish

O'zgarmas elektr toki mavjud bo'lishi uchun zanjirda, noelektrik tabiatli kuchlar bajaradigan ish hisobiga, doimiy potentsiallar farqi hosil qilib turuvchi qurilma bo'lishi kerak. Bunday qurilma **generator** va yoki **tok manbai** deb ataladi. Tok manbai tomonidan zaryadlarga ta'sir etuvchi noelektrik tabiatli kuchlarni esa **tashqi kuchlar** deyiladi. Tashqi kuchlarning tabiati turlicha bo'lishi mumkin:

- O'zgarmas tok generatorida bu kuchlar magnit maydon va yakorning aylanish mexanik energiyalari hisobiga hosil bo'ladi;
- Akkumulyator va gal'vanik elementda ximiyaviy reaksiyalar tufayli paydo bo'ladi;
- Yarimo'tkazgichli fotoelementda elektromagnit energiya (yorug'lik) hisobiga vujudga keladi.

*Tashqi kuchlar tomonidan musbat birlik zaryadni ko'chirishda bajariladigan ishni aniqlovchi fizik kattalik zanjirda ta'sir qiluvchi **elektr yurituvchi kuch (E.Yu.K.)** deb yuritiladi.*

$$\varepsilon = A/Q_0$$

Bu holda ish tok manbai energiyasining sarflanishi hisobiga bajariladi. Tashqi kuch tomonidan Q_0 zaryadga ta'sir etuvchi kuch quyidagiga teng:

$$\vec{F}_m = \vec{E}_m Q_0$$

bunda \vec{E}_m - tashqi kuchlar maydonining kuchlanganligi. Zanjirning berk qismida Q_0 zaryadni ko'chirishda bajariladigan ishni aniqlaymiz:

$$A = \oint \vec{F}_m d\vec{l} = Q_0 \oint \vec{E}_m d\vec{l}$$

yoki
$$\varepsilon = \oint \vec{E}_m d\vec{l}$$

Zanjirning chegaralangan 1-2 qismi uchun esa:

$$\varepsilon_{12} = \int_1^2 \vec{E}_T d\vec{l}$$

Q_0 zaryadga tashqi kuchlardan tashqari elektrostatik maydon kuchlari ham ta'sir qiladi.

$$\vec{F}_e = Q_0 \vec{E}$$

yoki
$$\vec{F} = \vec{F}_T + \vec{F}_e = Q_0 \left(\vec{E}_m + \vec{E} \right)_2$$

$$A_{12} = Q_0 \int_1^2 \vec{E}_m d\vec{l} + Q_0 \int_1^2 \vec{E}_m d\vec{l}$$

Bundan esa quyidagi formulani hosil qilamiz:

$$A_{12} = Q_0 \varepsilon_{12} + Q_0 (\varphi_1 - \varphi_2)$$

Berk zanjirda elektrostatik kuchlarning bajarigan ishi nolga teng. Shu sababli:

$$A_{12} = Q_0 \varepsilon_{12}$$

*Zanjirning biror chegaralangan qismida birlik musbat zaryadni ko'chirishda natijaviy maydon kuchlari tomonidan bajaradigan ishni aniqlovchi skalyar fizik kattalikni zanjirning shu qismidagi **kuchlanishi** deyiladi.*

$$U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon_{12}$$

Agar zanjirning qaralayotgan qismida *EYuK* bo'lmasa:

$$U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2$$

unda kuchlanish zanjirning shu qismidagi potentsiallar farqiga teng bo'ladi.

Om qonuni va uning integral hamda differentsial ko'rinishlardagi ifodasi. O'tkazgichlar qarshiligi

Zanjirning bir jinsli (ya'ni E.Yu.K mavjud bo'lmagan) qismidan o'tuvchi tok shu qismdagi U kuchlanishga to'g'ri, uning R qarshiligiga esa teskari proporsional bo'ladi:

$$I = U / R$$

Bu tenglama **zanjirning bir qismi uchun Om qonunining integral ko'rinishini** ifodalaydi. Qarshilikka teskari bo'lgan kattalikni o'tkazgichning **elektr o'tkazuvchanligi** deb ataladi.

$$G = 1/R \quad [R] = O_M, \quad [G] = C_M \text{ (суменс)}$$

Bir jinsli, chiziqli o'tkazgichning R qarshiligi uning l uzunligiga to'g'ri, S ko'ndalang kesim yuzasiga esa teskari proporsional bo'ladi:

$$R = \rho l / S$$

bunda ρ **solishtirma elektr qarshiligi** bo'lib, u o'tkazgichning materialini xarakterlaydi.

Solishtirma elektr qarshiligining o'lchov birligi:

$$[\rho] = O_{M..M}$$

Kumush ($1,6 \cdot 10^{-8}$ Om. m) va mis ($1,7 \cdot 10^{-8}$ Om.m) eng kichik solishtirma qarshiligiga ega. Amaliyotda esa ko'proq alyuminiy o'tkazgichlar ishlatiladi. Garchi alyuminiy ($2,6 \cdot 10^{-8}$ Om.m) ning solishtirma qarshiligi katta bo'lsada, uning zichligi misnikidan ancha kichik bo'lganligi bunga sabab bo'ladi.

Yuqoridagilarga asoslanib, Om qonunini, quyidagicha yozish mumkin:

$$\frac{I}{S} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{U}{l}$$

bunda $1/\rho = \gamma$ **o'tkazgich materiali (moddasi)ning solishtirma elektr o'tkazuvchanligi** deb yuritiladi. $[\gamma] = \text{Sm/m}$.

$U/l = E$ – o'tkazgichdagi elektr maydon kuchlanganligi va $I/S = j$ tok zichligi ekanligini e'tiborga olsak:

$$j = \gamma E \quad \text{ёку} \quad \vec{j} = \gamma \vec{E}$$

Bu ifoda **Om qonunining differentsial ko'rinishidir**. U o'tkazgich ichidagi istalgan nuqtada tok zichligi bilan maydon kuchlanganligini bog'laydi.

Tokning ishi va quvvati. Joule'-Lents qonuni

Uchlariga U kuchlanish qo'yilgan bir jinsli o'tkazgichdan dt vaqt ichida $dQ=I dt$ miqdorda zaryad o'tib, unda dA miqdorda ish bajariladi.

$$dA = UdQ = IUdt$$

Agar o'tkazgichning qarshiligi R bo'lsa, Om qonunini qo'llab quyidagini hosil qilamiz:

$$dA = I^2 Rdt = \frac{U^2}{R} dt.$$

Tokning quvvati esa:

$$p = \frac{dA}{dt} = UI = I^2 R = U^2 / R$$

Agar tok qo'zg'almas metall o'tkazgichdan o'tayotgan bo'lsa, unda bajarilgan ish uning qizishiga sarflanadi:

$$dQ = dA$$

Yuqoridagilarni jamlab, xulosalaymiz:

$$dQ = IUdt = I^2 Rdt = \frac{U^2}{R} dt$$

Bu ifoda **Joul' – Lents qonunini** ifodalaydi.

O'tkazgichda $dV=dSdl$ elementar tsilindrik hajmni ajratamiz, uning qarshiligi $R = \rho \frac{dl}{dS}$ bo'lishini e'tiborga olsak:

$$dQ = I^2 Rdt = \frac{\rho dl}{dS} (jdS)^2 dt = \rho j^2 dVdt$$

Birlik hajmda, birlik vaqt ichida ajraladigan issiqlik miqdorini **solishtirma issiqlik quvvati** deyiladi.

$$\omega = \rho j^2 = jE = \gamma E^2$$

Bu formula **Joul' – Lents qonunining differentsial ifodasidir**. U barcha o'tkazgichlar uchun o'rinli.

Zanjirning bir jinslimas qismi uchun Om qonuni

Agar tok qo'zg'almas o'tkazgichning bir jinlimas qismi orqali o'tayotgan bo'lsa, unda zaryadni shu qismda ko'chirish uchun bajariladigan ish va o'tkazgichning shu qismidan ajralib chiqadigan issiqlik miqdori energiyaning saqlanish qonuniga ko'ra o'zaro teng bo'ladi:

$$A_{12} = Q_0 E_{12} + Q_0 (\varphi_1 - \varphi_2)$$

$$Q = I^2 R t = IR (It) = IR Q_0$$

$$\text{ëku } I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon_{12}}{R}$$

Bu formulani zanjirning bir jinlimas qismi uchun **Om qonunining integral ifodasi** bo'ladi. U **umumlashgan Om qonuni** hisoblanadi.

Uning xususiy hollardagi tadbiri bilan tanishamiz.

- Agar mazkur qismda tok manbai mavjud bo'lmasa $\varepsilon_{12} = 0$, unda bir jinsli zanjir uchun Om qonuni hosil bo'ladi.

$$I = (\varphi_1 - \varphi_2) / R = U / R$$

- Agar elektr zanjiri berk bo'lsa, unda berk zanjir uchun Om qonuni kelib chiqadi.

$$I = \varepsilon / (R + r)$$

bunda r - manbaning ichki qarshiligi.

- Agar elektr zanjiri ochiq bo'lsa, unda $I=0$.

$$\varepsilon_{12} = \varphi_2 - \varphi_1$$

ya'ni ochiq zanjirda EYuK, o'tkazgich uchlaridagi potentsiallar farqiga teng bo'ladi. Shu sababli, tok manbaining EYuK ini topish uchun zanjirning uzilgan holatida, tok manbai klemmlaridagi potentsiallar farqi o'lchanishi kerak bo'ladi.

Mustaqil ta'limda o'rganish uchun material

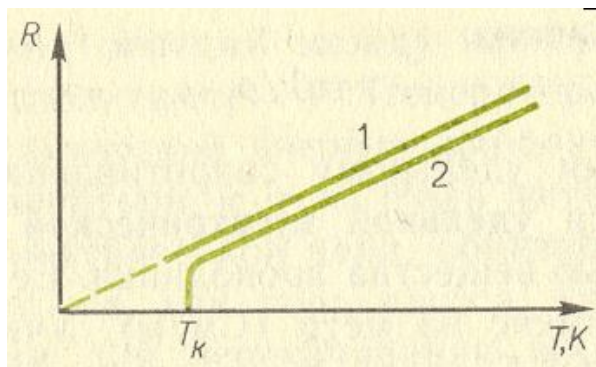
O'ta o'tkazuvchanlik hodisasi

Odatdagi sharoitlar uchun qarshilik temperaturaga chiziqli bog'liq holda o'zgaradi:

$$\rho = \rho(1 + \alpha t)$$

$$R = R_0(1 + \alpha t)$$

bunda ρ va ρ_0 , R va R_0 - mos holda o'tkazgichning t va 0°S dagi solishtirma qarshiligi va to'la qarshiligi. α - **qarshilikning temperaturaviy koeffitsienti** bo'lib, u toza metallar uchun (juda past bo'lmagan temperaturalarda) $1/273 \text{ K}^{-1}$ ga yaqin qiymatni qabul qiladi. Demak, qarshilikning temperaturaga bog'liqligini quyidagicha ifodalash mumkin: $R = \alpha R_0 T$ bunda T – termodinamik temperatura.



1 – rasm

Metall qarshiligining temperaturaga bog'lanishi sifat jihatdan, 1- rasm (1-chiziq) dagidek ko'rinishda bo'lishi kerak edi.

Lekin, tajribalar ko'pgina metall (Al, Pb, Zn ...) va qotishmalarning elektr qarshiligi **kritik temperatura** deb nomlanuvchi, juda past (0,14-20K) temperaturalarda, to'satdan nolga aylanib absolyut o'tkazuvchi bo'lib qolishini ko'rsatdi. (2-chiziq). Bu hodisani **o'ta o'tkazuvchanlik hodisasi** deb yuritiladi.

Uni 1911 yilda G. Kamerling – Onness simob bilan o'tkazilgan tajribalar paytida aniqladi. Bu hodisa kvant nazariyasi asosida talqin etiladi.

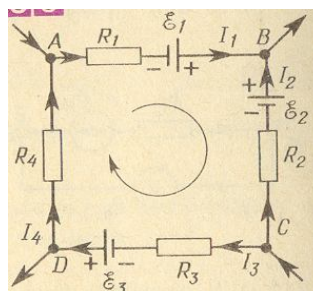
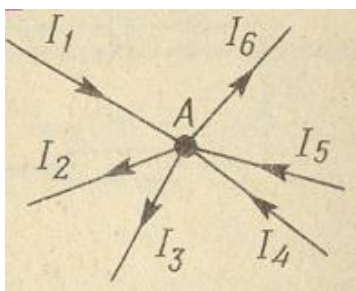
O'ta o'tkazuvchan materiallardan amalda foydalanishga ularning kritik temperaturalarining juda pastligi to'sqinlik qiladi. Lekin hozirgi kunda 100 K va undan yuqori temperaturalarda ham o'ta o'tkazuvchanlik xususiyatiga ega bo'luvchi keramik materiallar borligi aniqlangan.

Qarshiliklar termometri deb ataluvchi asbobning ta'siri, metallar elektr qarshiligining temperaturaga bog'liqligiga asoslanadi. Bu o'lchov asbobida uning qarshilik va temperatura orasidagi gradiurovkaga bog'liq tarzda 0,003 K aniqlikda temperaturani o'lchash imkoniyatini beradi. Ishchi modda sifatida maxsus

texnologiya bo'yicha tayyorlangan yarim o'tkazgich asosida ishlaydigan termistorlar temperaturasining $10^{-6} K$ miqdoridagi o'zgarishlarini ham qayd qila oladi.

Zanjirning tarmoqlangan qismi uchun Kirxgof qoidalari

Zanjirning uch va undan ortiq tokli o'tkazgichlari uchrashadigan nuqtasi **tugun** deb ataladi. Shartli ravishda tugunga keluvchi tokni musbat va undan chiquvchi tokni esa manfiy ishorali deb hisoblaymiz.



2-rasm 3-rasm

Kirxgofning birinchi qoidasi:

Tugunda uchrashuvchi toklarning algebraik yig'indisi nolga teng. (2-rasm)

$$I = \sum_k I_k = I_1 + I_2 + \dots + I_k = 0, \quad k = 3, 4, \dots$$

Masalan. 1- rasmdagi hol uchun Kirxgof qoidasi quyidagicha yoziladi:

$$I_1 - I_2 + I_3 - I_4 - I_5 = 0$$

Kirxgofning birinchi qoidasi elektr zaryadlarining saqlanish qonunidan kelib chiqadi.

Kirxgofning ikkinchi qoidasi esa tarmoqlangan zanjir uchun umumlashgan Om qonunidan kelab chiqadi.

Uch qismdan iborat konturni ko'rib chiqamiz (3 - rasm).

Ixtiyoriy ravishda, soat milining aylanish yo'nalishini musbat deb olamiz. Tok manbalari beradigan toklarning yo'nalishiga qarab, ularning ishoralarini belgilab olamiz.

Zanjirning mos qismlariga Om qonunini qo'llab, quyidagini hosil qilamiz:

$$\begin{cases} I_1 R_1 = \varphi_A - \varphi_B + \varepsilon_1 \\ -I_2 R_2 = \varphi_B - \varphi_C - \varepsilon_2 \\ I_3 R_3 = \varphi_C - \varphi_D + \varepsilon_3 \\ I_4 R_4 = \varphi_D - \varphi_A \end{cases}$$

bunda esa:

$$I_1 R_1 - I_2 R_2 + I_3 R_3 + I_4 R_4 = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3$$

Bu tenglik **Kirxgofning ikkinchi qoidasini** ifodalaydi:

Tarmoqlangan elektr zanjirining tanlangan har qanday berk konturida mos qismlardagi tok kuchi va qarshiliklar ko'paytmalarining algebraik yig'indisi shu qismlarda uchraydigan mos E.Yu.K larning algebraik yig'indisiga teng:

$$\sum_i I_i R_i = \sum_k \varepsilon_k$$

O'zgarmas tokning murakkab elektr zanjirlari uchun Kirxgof qoidalaridan foydalanib hisoblashlar o'tkazilayotganda quyidagicha ish tutiladi.

- Zanjirning barcha qismlari uchun yagona, ixtiyoriy yo'nalish tanlab olinadi. Toklarning haqiqiy yo'nalishi esa masala hal qilingandan so'ng ma'lum bo'ladi.
Agar aniqlangan tokning ishorasi musbat chiqsa, demak, yo'nalish to'g'ri belgilangan, manfiy bo'lsa uning yo'nalishi teskari deb, qaraladi.
- Konturni aylanib chiqish yo'nalishi ixtiyoriy tanlanadi va unga qat'iy amal qilinadi. Agar tokning yo'nalishi shu qismdagi aylanib chiqish yo'nalishiga mos tushsa, IR musbat ishora bilan olinadi. EYuKlarning ishorasi ham xudda shunday printsiptda aniqlanadi.
- Izlanayotgan kattaliklar soniga teng tenglamalar tuzish lozim bo'ladi.

Sinov savollari:

1. Om qonunining differentsial ko'rinishini keltirib chiqaring
2. Joul'-Lents qonunining differentsial shaklni xosil qiling
3. Tokning solishtirma issiqlik quvvati qanday fizik ma'noni anglatadi?
4. Umumlashgan Om qonunini taxlil qilib bering
5. Tugun tuqunchasini yoriting

6. Kirxgofning birinchi qoidasini ta'riflang, u qanday qonunga asoslanadi?
7. Kirxgofning ikkinchi qoidasini ta'riflang, u qanday qonunga asoslanadi?
8. Agar zanjirga n-dona bir xil \mathcal{E} E.Yu.K.li manbalar o'zaro ketma-ket ulansa natijaviy ε_n nimaga teng bo'ladi?
9. Agar zanjirga n-dona \mathcal{E} E.Yu.K. parallel tarzda ulasak ε_n qanday bo'ladi?
10. Kirxgof qoidalarini ifodalovchi tenglamalar qanday tuziladi?

5-Ma'ruza rejasi

- Kirish
- Elektronning metalldan chiqish ishi
- Termoelektron emissiya hodisasi
- Kontakt potentsiallar farqi
- Termoelektrik hodisalari

Mustaqil ta'lim

- Metall elektr o'tkazuvchanligining klassik elementar nazariyasi va uning asosida elektr tokining asosiy qonunlarini keltirib chiqarish
- Klassik nazariyaning kamchiliklari

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, metallan 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.

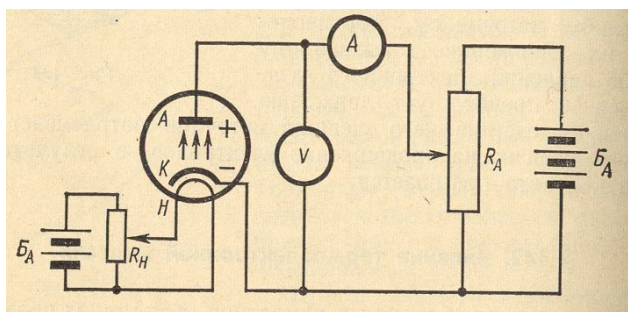
CHiqish ishi elektron vol't (eV)larda ifodalanadi:

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

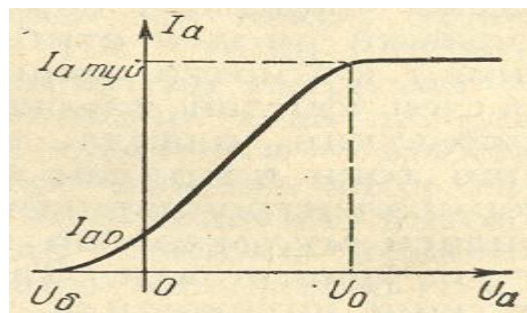
CHiqish ishi metallarning ximiyaviy tabiatiga va ular sirtining tozaligiga bog'liq bo'lib, u turli metallar uchun bir necha elektron-vol't qiymati chegarasida o'zgaradi. (masalan, qalay uchun 2,2eV) sirtini ishqoriy er metallari (Sa, Sr, Ba) bilan qoplansa, unda chiqish ishi 2eV gacha kamayadi.

Termoelektron emissiya hodisasi.

Qizdirilgan metallan 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 (1-rasm).



1-rasm



2-rasm

Agar diodni zanjirga ulab, katod qizdirilsa va anodga musbat kuchlanish berilsa, elektr toki hosil bo'ladi. Bu bog'lanish vakuumli diodning **vol't 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. (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.*

$$I = BU^{\frac{3}{2}}$$

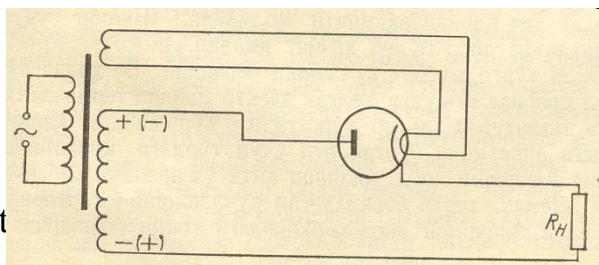
bunda V - elektrodning shakli, o'lchamlari va o'zaro joylashuvigagina bog'liq bo'luvchi koeffitsient.

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, S 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.

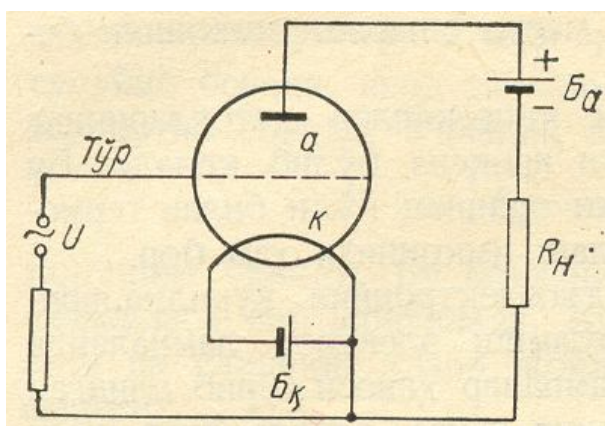


3-rasm

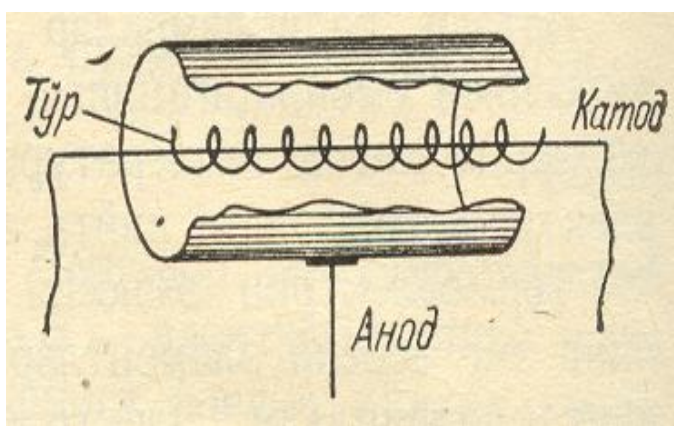
Agar vol'fram sirt elektronning chiqish ishini uch marta kamaytirish mumkin. Bu esa katod temperaturasi 1000 K bo'lgan holda to'yinish toki zichligini 10^{14} marta oshirish imkonini beradi.

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. 3-rasmda diodli to'g'rilagichning sxemasi tasvirlangan.

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. (4-rasm)



4-rasm



5-rasm

Uchinchi elektrod katod bilan anod orasida (katodga yaqin masofada) joylashtirilgan to'rdan iborat bo'ladi. 5-rasmda triodning eng ko'p qo'llanilgan konstruktsiyasi 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.

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 potentsiallar farqi

1797 yilda A.Vol'ta 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 har bir metall o'zidan keyingi istalgan metall bilan musbat zaryad namoyon etib kontaktlashadi. Bu qatorni **Vol'ta qatori** deb yuritiladi.

Vol'ta tajribaga tayanib quyidagi ikki qonunni aniqladi:

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

2. *O'zaro ketma-ket ulangan bir xil temperaturali turli o'tkazgichlardan tashkil topuvchi tizimning kontakt potentsiallari ayirmasi oraliq o'tkazgichlarning 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 konsentratsiyasi 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 birinchi musbat, ikkinchisi manfiy zaryadlanib, ular orasida yana potentsiallar farqi hosil bo'ladi. Uning qiymati erkin

elektronlar kotsentratsiyasiga bog'liq bo'ladi: $\Delta\varphi_{12}'' = \frac{\kappa T}{e} \ln \frac{n_1}{n_2}$ ko'rib o'tilgan ikki sababning natijaviy ta'siri ostida birinchi va ikkinchi metallar orasidagi kontakt potentsiallar farqi quyidagicha ifodalanadi:

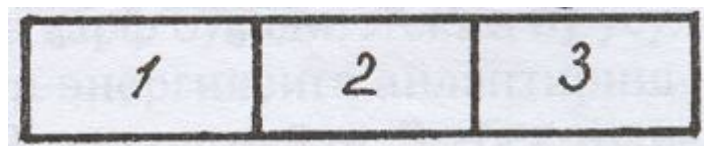
$$\Delta\varphi_{1,2} = \Delta\varphi_{1,2}' + \Delta\varphi_{1,2}'' \quad \text{yoki}$$

$$\Delta\varphi_{12} = -\frac{A_1 - A_2}{e} + \frac{\kappa T}{e} \ln \frac{n_1}{n_2}$$

Olinagan ifodani kontaktlangan uch xil metall uchun umumlashtirib ko'raylik. 6-rasmdan ravshanki, Kirxgofning II qoidasiga binoan, tizimning to'liq kontakt potentsiallar ayirmasi kontaktlangan qismlardagi kontak potentsiallar ayirmalarining yig'indisiga teng:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = -\frac{A_1 - A_2}{e} + \frac{\kappa T}{e} \ln \frac{n_1}{n_2} - \frac{A_2 - A_3}{e} + \frac{\kappa T}{e} \ln \frac{n_2}{n_3} \quad \text{yoki}$$

$$\varphi_1 - \varphi_3 = -\frac{A_1 - A_3}{e} + \frac{\kappa T}{e} \ln \frac{n_1}{n_3}$$



6-rasm

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.

Termoelektrik hodisalar.

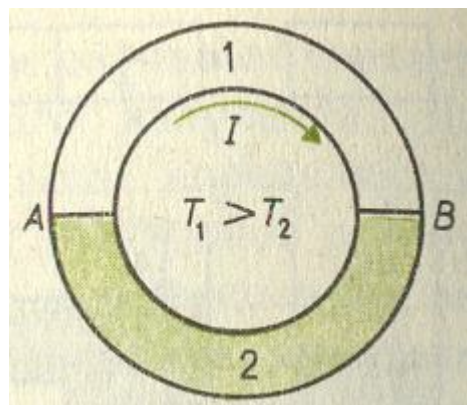
Vol'taning ikkinchi qonuniga binoan, bir xil temperaturali, bir nechta metallardan tashkil topuvchi berk zanjirda EYuK vujudga kelmaydi, ya'ni elektr toki hosil bo'lmaydi. Lekin, kontaktlar temperaturasi turlicha bo'lsa, zanjirda **termoelektrik tok** deb ataluvchi, tok paydo bo'ladi. Metallarda, yarim 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.

1. Zeebek effekti. 1821 yilda nemis fizigi T.Zeebek *berk zanjirni tashkil etgan ikki xil metallning 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 kontsentratsiyasi 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 xisobiga ular musbat zaryadlanadilar. Sovuq uchlari manfiy zaryadlanadi, natijada o'tkazgichlarning uchlarida **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 proporsional bo'ladi:

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

bunda ε -termoelektr yurituvchi kuch deyiladi. $T_1 > T_2$ hol uchun tokning yo'nalishi strelka bilan ko'rsatilgan (7-rasm).



7-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 temperaturalarini o'lchash uchun foydalaniladi. Undan shuningdek elektr tokining generatsiyalash uchun ham foydalanish mumkin.

2. 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 aniqlanadi:

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

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 kontaktdan o'tib, kichik energiyali (chiqish ishi nisbatan katta) metallga tushsa, ortiqcha energiyani kristall panjaraga beradi, natijada kontakt qiziydi. Aks xolda energiya yutiladi.

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

3. Tomson effekti. Termodinamika mulohazalari asosida Vil'yam Tomson (Kel'vin) 1856 yilda *uzunligi bo'yicha temperatura 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:

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

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

Mustaqil ta'limda o'rganish uchun material

Metall, vakuum va gazlardagi elektr toki

Metall elektr o'tkazuvchanligining klassik elementar nazariyasi va uning asosida elektr tokining asosiy qonunlarini keltirib chiqarish.

Metallarda elektr tokini tashuvchi zarrachalar erkin elektronlar bo'lib, ular kristall panjara hosil qiluvchi atomlardan uzilib chiquvchi valent elektronlardir. Bu

jarayonda kristall panjara tugunlarida musbat zaryadli metall ionlari, ularning orasida esa ideal gaz xossalarini namoyon qiluvchi va doimo xaotik harakatlanuvchi erkin elektronlar hosil bo'ladi.

Elektronlar harakatlanish davomida, doimiy tarzda panjara tugunidagi ionlar bilan to'qnashib, o'zaro energiya almashib turadilar. Shuning uchun, elektron gazi va panjara orasida termodinamik muvozanat vujudga keladi.

Drude - Lorents nazariyasiga ko'ra elektronlar bir atomli gazlar issiqlik harakati energiyasiga teng energiyaga ega bo'ladilar.

Molekulyar kinetik nazariya xulosalariga asoslanib, elektron issiqlik harakatining o'rtacha tezligini aniqlash mumkin.

$$\langle u \rangle = \sqrt{8\kappa T / (\pi m_e)}$$

Odatdagi temperaturalarda, ya'ni $T \approx 300 \text{ K}$ bo'lganda $\langle u \rangle = 1,1 \cdot 10^5 \text{ m/c}$ bo'lar ekan. Elektronlar xaotik (tartibsiz) xarakatda bo'lgani uchun elektr toki hosil qilolmaydi. Tashqi elektr maydonida hosil bo'ladigan tartibli xarakatdagi elektronlarning o'rtacha tezligi esa, quyidagicha teng:

$$\langle \vartheta \rangle = j / (ne) \text{ azap } j(\text{Cu}) = 1 \cdot 10^7 \text{ A/m}^2 \text{ va } n(\text{Cu}) = 8 \cdot 10^{28} \text{ m}^{-3}$$

ekanligini e'tiborga olsak:

$$\langle \vartheta \rangle = 7,8 \cdot 10^{-4} \text{ m/c}$$

bunda esa $\langle \vartheta \rangle \ll \langle u \rangle$ ekanligi namoyon bo'ladi.

Shuning uchun $\langle \vartheta \rangle + \langle u \rangle \approx \langle u \rangle$ deb olish mumkin.

Olingan natija elektr signallarining bir onda ulkan masofalarga tarqalish faktiga muvofiq kelmaydi. Lekin, biz bu holda, elektr zanjiri ulanishi bilan elektr maydonining ($s = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$) tezlik bilan tarqala boshlashini e'tiborga olishimiz kerak. Chunki $t = l/c$ (l - zanjir uzunligi) vaqtdan so'ng zanjir bo'ylab statsionar elektr maydoni hosil bo'ladi va unda elektronlarning tartibli harakati boshlanadi. Shu tufayli zanjir ulangan ondayoq elektr toki hosil bo'ladi.

1. Om qonuni. Metall o'tkazgichda kuchlanganligi $E = \text{const}$ bo'lgan elektr maydoni mavjud bo'lsin. Unda maydon e zaryadli elektronga $F = e E$ kuch bilan

ta'sir qiladi va unga $a = F / m = e E / m$ tezlanish beradi. Natijada elektronlar erkin yugurish davrida tekis tezlanuvchan harakat qilib, quyidagi tezlikka erishadi:

$$g_{\max} = eE \langle t \rangle / m$$

bunda $\langle t \rangle$ elektronning panjara ionlari bilan ketma-ket to'qnashishlari orasidagi o'rtacha vaqt. Elektron ion bilan to'qnashgandan so'ng, unga barcha to'plagan energiyasini berib, tezligi yana nolga aylanadi $\langle g \rangle = (g_{\max} + 0) / 2 = eE \langle t \rangle / (2m)$

bunda $\langle t \rangle = \langle l \rangle / \langle u \rangle$ ekanligini $\langle l \rangle$ - elektron erkin yugurish yo'lining o'rtacha qiymatini nazarda tutsak:

$$\langle g \rangle = eE \langle t \rangle / (2m \langle u \rangle)$$

Metall o'tkazgichdagi tok zichligi quyidagicha ifodalanadi.

(Om qonunining differentsial ko'rinishi)

$$j = ne \langle u \rangle = \frac{ne^2 \langle l \rangle}{2m \langle u \rangle} E = \gamma E$$

bunda $\frac{ne^2 \langle l \rangle}{2m \langle u \rangle} = \gamma$ - o'tkazgich materialining **solishtirma elektr**

o'tkazuvchanligi bo'lib, u elektronlar konsentratsiyasi va o'rtacha erkin yugurish yo'lining uzunligiga proporsional tarzda o'zgaradi.

2. Joul' – Lents qonuni. Erkin yugurish yo'lining oxirida elektron maydon ta'siri ostida qo'shimcha kinetik energiya oladi.

$$\langle E_k \rangle = \frac{mv_{\max}^2}{2} = \frac{e^2 \langle l \rangle^2}{2m \langle u \rangle^2} \cdot E^2$$

Elektron ion bilan to'qnashganida bu energiyani to'laligicha panjaraga beradi va u metall ichki energiyasining oshishiga sarflanadi.

Elektron vaqt birligi ichida panjara tugunlari bilan o'rtacha $\langle z \rangle$ marta to'qnashadi:

$$\langle z \rangle = \langle u \rangle / \langle l \rangle$$

Agar elektronlar konsentratsiyasi n bo'lsa, unda $n \langle z \rangle$ marta to'qnashish sodir bo'lib, panjaraga quyidagi miqdorda energiya uzatiladi:

$$\varpi = n \langle z \rangle \langle E_k \rangle$$

va u o'tkazgichning qizishi uchun sarflanadi.

Yuqoridagilardan foydalanib, o'tkazgichning birlik hajmidagi panjaralarga, birlik vaqt davomida beriladigan energiyani aniqlaymiz. (**Joul'-Lents qonunining differentsial qo'rinishdagi ifodasi**):

$$\varpi = \frac{ne^2 \langle l \rangle}{2m \langle u \rangle} E^2 = \gamma E^2$$

bunda ϖ - tokning solishtirma issiqlik quvvati deb aytiladi.

3. Videmen-Frants qonuni. Metallarda birday yuqori elektr va issiqlik o'tkazuvchanligi kuzatiladi. Bu shu bilan izohlanadiki, metallardagi tok va issiqlik tashuvchi zarrachalar erkin elektronlar bo'lib, ular ko'chganida nafaqat elektr zaryadi va u bilan chambarchas bog'liq bo'lgan xaotik issiqlik harakati energiyasi ham olib o'tiladi, ya'ni issiqlik ko'chishi amalga oshadi. Mazkur jarayonining miqdoriy xarakteristikasi **Videman-Frants qonuni** bilan ifodalanadi: *Bir xil temperaturali, istalgan metall uchun issiqlik o'tkazuvchanligining solishtirma elektr o'tkazuvchanligiga nisbati doimiy miqdor bo'lib, faqat termodinamik temperaturaga proporsional holda oshadi:*

$$\lambda / \gamma = \beta T$$

bunda β - metall turiga bog'liq bo'lmagan doimiy bo'lib, uning qiymatini aniqlashda nazariya va amaliyot orasida keskin tafovut paydo bo'ldi, chunki, metallar elektr o'tkazuvchanligining elementar klassik nazariyasiga ko'ra $\beta = 3(k/e)^2$. Bunda k-Bol'tsman doimiysi. Garchi bu qiymat tajriba natijalariga mos tushmada, uning tasodifan ekanligi ma'lum bo'ldi. Lorents, elektronlar gaziga Maksvell-Bol'tsman statistikasini qo'llab, shu asosda elektronlarning tezliklar bo'yicha taqsimlanishi e'tiborga olib, $\beta = 2(k/e)^2$ ekanligini aniqladi.

Klassik nazariya kamchiliklari

Shunday qilib, metallar elektr o'tkazuvchanligining klassik nazariyasi Om qonuni va Joule – Lents qonunlarini izohlab berdi. Videman-Frants qonunini esa faqat sifat jihatdan izohlashga erishdi. Lekin boshqa hollarda, mazkur nazariyaning xulosalari tajribadan olingan ko'pgina natijalarga mos kelmasligi ayon bo'ldi. Shulardan ba'zilarini ko'rib chiqamiz.

Qarshilikning temperaturaga bog'liq o'zgarishi.

- klassik nazariya bo'yicha: $R \sim \sqrt{T}$
- tajriba natijalari bo'yicha: $R \sim T$

Metallarning issiqlik sig'imi (masalan bir atomli elektron gaz va kristall panjara uchun).

- klassik nazariya bo'yicha: $C = 3R + 3R/2 = 4,5R$
- tajriba (Dyulong-Pti qonuni) bo'yicha: $S = 3R$

Shuningdek, elektronlar o'rtacha erkin yugurish yo'li uchun ham nazariya bo'yicha amaldagidan yuzlab marta katta qiymat kelib chiqdi.

Kuzatilgan nazariya va tajriba natijalari orasidagi tafovutni, metalldagi elektronlarning harakati klassik fizika qonunlarga emas, balki kvant mexanikasi qonunlariga bo'ysunishi bilan izohlanadi. Elektron o'tkazuvchanlik jarayoni esa Maksvell-Bol'tsman statistikasi bilan emas, balki kvant statistikasi asosida tavsiflanadi. Lekin, klassik elektron nazariya shu kunlarga ham o'zining aktualigini yo'qotmaganini, ko'p hollarda (masalan kichik konsentratsiya va yuqori temperaturalarda) sifat jihatdan to'g'ri natijalar berishini hamda kvant fizikasiga nisbatan oddiy va tasavvur uchun ko'rgazmali ekanini ta'kidlab o'tamiz.

Sinov savollari:

1. Nima sababdan elektronlarning issiqlik xarakati tufayli elektr toki xosil bo'lmaydi.
2. Metallar elektr o'tkazuvchanligining klassik nazariyasidan foydalanib, Om qonunining differentsial ko'rinishi (shakli)ni keltirib chiqaring
3. Metallar elektr o'tkazuvchanligining klassik nazariyasi metallar qarshiligining temperaturaga bog'liqligini qanday tushuntiradi
4. Videman-Frants qonunini ta'riflang

5. Elektronning metaldan chiqish ishi sababini va chiqish ishini son qiymati qanday faktorlarga bog'liq bo'lishini ayting
6. Vakuimli diodning vol't - amper xarakteristikasini tushuntirib bering?
7. Boguslavskiy-Lengmyur qonuni nimadan iborat? Richardson-Deshman formulasini yozing?
8. Kontakt potentsiallar farqi hosil bo'lishining sababi nimada?
9. Zebbek effekti nima?
10. Pel't'e va Tomson effektlarini ta'riflang?

6-Ma'ruza rejasi

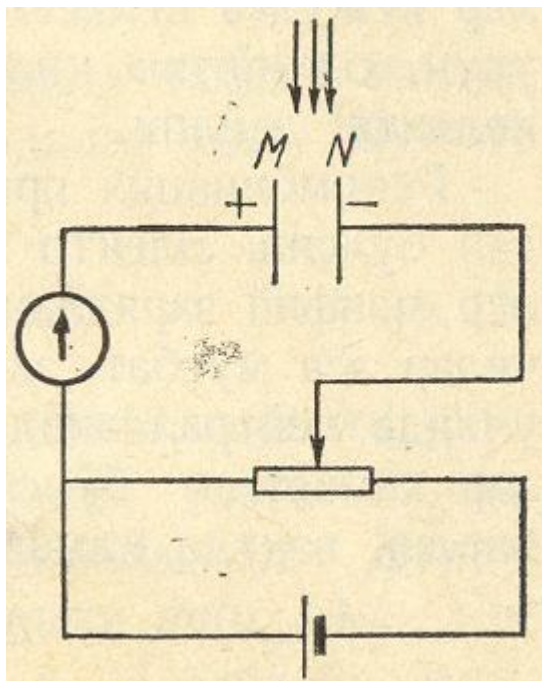
- Kirish
- Gazlarning ionlanishi. Nomustaqil gaz razryad.
- Mustaqil gaz razryad va uning turlari.
- Plazma haqida tushuncha

Mustaqil ta'lim

- Yarim o'tkazgichlar va ularning xossalari
- Yarim o'tkazgichlar o'tkazuvchanligining ikki mexanizmi
- Yarim o'tkazgichlarning qo'llanilishi.

Gazlarning ionlashishi. Nomustaqil gaz razryadi.

Elektr tokining gazlar orqali o'tishiga *gaz razryadi* deyiladi. Normal sharoitda barcha gazlar yaxshi izolyator hisoblanishadi. Agar biror tashqi fizik ta'sir ionlagich (ultrabinafsha nurlar, rentgen nurlari, qizdirish va h.k) vositasida gazlarni ionlashtirsak, faqat shundagina ular elektr tokini o'tkazuvchi muhitga aylanadi. 1-rasmda tasvirlangan zanjir orqali elektr toki oqishini ta'minlash uchun, elektrodlar oralig'iga zaryad tashuvchilar kiritish yoki biror usul bilan elektrodlar orasidagi gazda zaryad tashuvchilar vujudga keltirilishi kerak.



1-rasm

Ma'lumki, gazlarda elektronlarning o'z atomlari bilan o'zaro ta'sir kuchi birmuncha katta. Elektronlarni atomdan ajratib olish uchun tashqi kuch $A = e(\varphi_i - \varphi_m)$ bilan aniqlanuvchi ishni bajarishi lozim. Yadroning atom tashqarisidagi potentsiali $\varphi_m = 0$ bo'lgani sababli tashqi kuchning bajargan ishi quyidagicha yoziladi: $A_i = e\varphi_i$. Bu ifoda **ionlashish ishini** bildiradi. Bunda φ_i -ionlanish potentsiali. Turli gaz atomlari bir-biridan ionlashish potentsiali bilan farq qiladi. Masalan vodorod uchun $\varphi = 13,5V$, geliy uchun esa $\varphi_i = 24,5B$ ga teng.

Gaz razryadining xarakteri quyidagi faktlarga bog'liqdir:

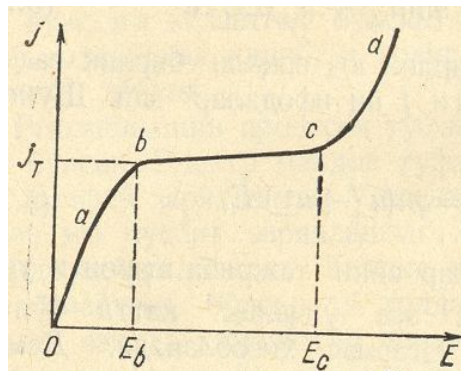
- Gaz va elektrodning ximiyaviy tabiatiga;
- Gazning bosimi va temperaturasiga;
- Elektrodning shakli, o'lchami va o'zaro joylashuviga;
- Elektrodlar orasidagi kuchlanishga;
- Tokning zichligi va quvvatiga;

Gazdagi zaryad tashuvchilar tashqi faktorlar tufayli vujudga kelishi natijasida kuzatiladigan elektr tokini **nomustaqil gaz razryad** deyiladi. Unga boshqacha ta'rif berish ham mumkin:

*Ionlagich ta'siri to'xtagach gazdagi tokning o'tishi yo'qoladigan elektr o'tkazuvchanlikni **nomustaqil gaz razryad** deb ataymiz.*

Ionlanish protsessi bilan bir qatorda gazda rekombinatsiya jarayoni ham sodir bo'ladi. Rekombinatsiya ionlanishga teskari jarayon bo'lib, bunda musbat va manfiy ionlarning yoki elektron va musbat ionning to'qnashuvi natijasida neytral molekular hosil bo'ladi. Agar M va N elektrodga berilgan kuchlanish etarlicha katta bo'lsa, unda ionizator ta'sirida vujudga kelayotgan ionlarning deyarli hammasi rekombinatsiyalanishga ulgurmasdanoq elektrodga etib oladi.

Ionizator ta'sirida gazning birlik hajmida birlik vaqtda n juft ion vujudga keladi. Bir-biridan l uzoqlikda joylashgan S yuzli ikki elektrod orasidagi hajm $S \cdot l$ ga teng bo'lgani uchun, Δt ichida umumiy zaryad $Q = qnSl\Delta t$ bo'lgan ionlar vujudga keladi. Bu ionlarning hammasi tok tashishda qatnashadi.



2-rasm

To'yinish tokining zichligi quyidagi formula orqali ifodalanadi:

$$j = \frac{Q}{S\Delta t} = qnl$$

2-rasmda $j = f(E)$ bog'lanish diagrammasi berilgan.

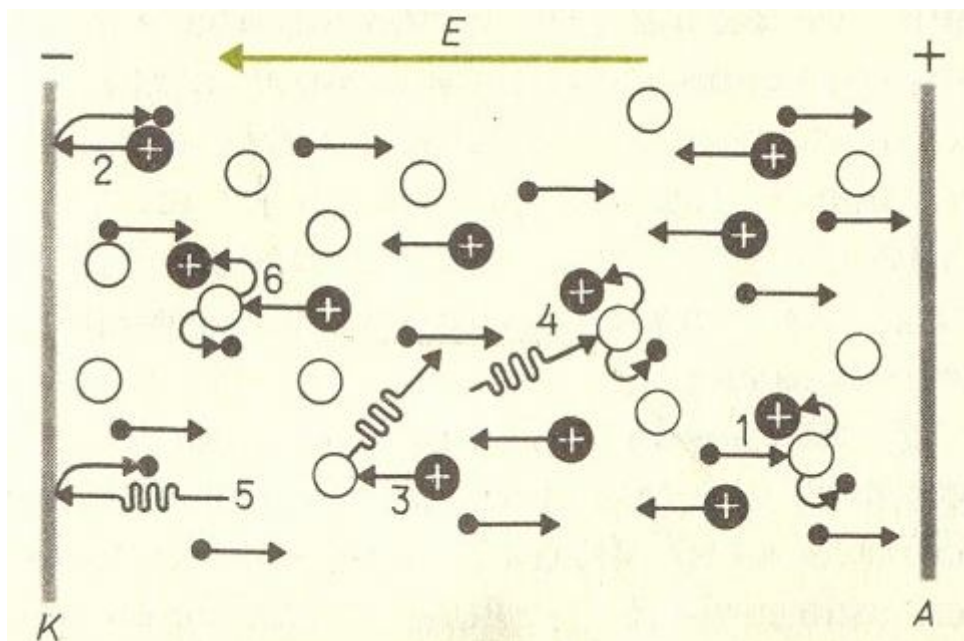
Grafikning Oa qismi kuchsiz elektr maydonga mos keladi. Bunday maydonlarda zaryad tushuvchilar kichik tezliklar bilan harakatlanib, ko'pincha elektrodga etib bormasdanoq, rekombinatsiyalashadi. Lekin elektr maydon kuchaygani sari ionlar tezligi ortib, tokning ortishiga sabab bo'ladi. Bu soxada j va E orasidagi bog'lanish Ohm qonuniga bo'ysunadi. ab qismida esa j ning E ga chiziqli bog'liqligi buziladi. Grafikning bu qismini oraliq soha yoki o'tish sohasi deyiladi. bc qismi esa to'yinish tokiga mos keladi. Maydon kuchlanganligi $E_b \leq E \leq E_c$ bo'lganda ionizator ta'sirida vujudga kelgan ionlarning hammasi tok tashishda qatnashadi.

Lekin maydon kuchlanganligi E_s dan ortganda zarbdan ionlanish tufayli tok keskin ortadi (2-rasmdagi *sd* qism).

Mustaqil gaz razryadi va uning turlari.

Tashqi ionlagich ta'siri to'xtatilgandan so'ng ham elektr maydon mavjud bo'lgan gazli muhitda tok o'tishi davom etadigan razryad **mustaqil razryad** deyiladi. Mustaqil razryad hosil bo'lish sharti bilan tanishamiz. Yuqori kuchlanish ostidagi elektronlar katta kinetik energiyaga ega bo'lib qoladilar. Ular neytral gaz molekulalari bilan to'qnashib, uni ionlashtiradilar. Chunki kuchlanganligi E bo'lgan elektr maydoni Q zaryadli tok tashuvchi (ion yoki elektron) ga $F = Q \cdot E$ kuch bilan ta'sir etadi. Bu kuch ta'sirida tok tashuvchi ikki ketma-ket to'qnashuv orasida erkin bosib o'tilgan l yo'lda $W_k = QEl$ kinetik energiyaga erishadi. Agar bu energiya gaz molekulasining ionlanishi uchun bajarilishi lozim bo'lgan A_i ishdan katta bo'lsa, ya'ni $W_k > A_i$ shart bajarilsa, tok tashuvchining neytral molekula bilan to'qnashishi natijasida molekula ikki qismga-erkin elektronga va musbat zaryadlangan ionga ajraladi (3-rasmdagi 1-jarayon).

Musbat ionlar katodga, elektronlar esa anodga tomon harakatlanadi. Ikkilamchi elektronlar gaz molekulalarini ionlashda davom etadi va buning natijasida elektron va ionlarning umumiy soni tobora oshib boradi. Bu jarayonni **zarbdan ionlashishi** deb aytiladi.



3-rasm

Lekin tashqi ionlagich chetlashtirilgach, elektron ta'sirida sodir bo'ladigan zarbdan ionlanish-razryadni ta'minlashga kifoya qilmaydi. Razryad davom etishi uchun qaysidir jarayonlar ta'sirida gazda doimo yangi elektronlar hosil bo'lib turishi shart. 3-rasmda bu jarayonlar sxematik tarzda ko'rsatilgan.

1. Gazdagi musbat zaryadli ionlar elektr maydon ta'sirida ancha katta energiyaga erishgach, katodga urilish natijasida elektroddan elektronlar ajralib chiqadi. (2-jarayon). Buni **ikkilamchi elektron emissiya** deb ataladi.
2. Zarbdan ionlanish natijasida vujudga kelgan ion uyg'otilgan holatda bo'lishi mumkin. Bu ion uyg'otilgan holatdan asosiy holatga o'tayotganda qisqa to'lqin uzunlikda nur chiqaradi. Bunday nur energiyasi molekulaning ionlanishiga etarli bo'lib qolganda **fotoionlanish hodisasi** ro'y beradi (3-jarayon).
3. Neytral molekula fotonni yutib, ionlanib qoladi. Buning natijasida molekulaning **fotonli ionlanish** jarayoni sodir bo'ladi. (4 jarayon).
4. Bundan tashqari foton katoddan elektronni urib chiqarish oqibatida ham gaz razryadi kuzatilishi mumkin (5-jarayon).
5. Elektrodlar orasidagi kuchli elektr maydon ($E \approx 10^8$)V/m metallardan elektronlarni yulib olishi (**avtoelektron emissiya**) tufayli gaz razryadi paydo bo'ladi (6-jarayon).

1) **YOlqin razryad** kichik bosimda hosil bo'ladi. Uni, naycha ichidagi gaz bosimi 0,1 mm simob ustuniga, elektrodga berilgan kuchlanish esa bir necha yuz voltga teng bo'lganda kuzatish mumkin. Katodga yaqin joylashgan, nurlanish sodir bo'layotgan sohani katod qorong'i fazasi deyiladi. Razryadning qolgan (anodgacha davom etgan) qismida miltillagan nurlanish kuzatiladi. Uni nurlanuvchi anod ustuni deyiladi. Naydagi gazni o'zgartirganda nurlanishning rangi ham o'zgaradi. Masalan, neon-qizil, argon-ko'kish, geliy sariq rangdagi nurlanish beradi. YOlqin razryadning bu xususiyatlaridan kunduzgi yorug'lik lampalarida, vitrinalarni yoritish va bezash maqsadlarida foydalaniladi.

2) **Uchqunli razryad**. Agar atmosfera bosimidagi gazda juda katta ($\approx 3 \cdot 10^6$)V/m kuchlanganlikli elektr maydoni hosil qilinganda, unda qisqa vaqt davom etadigan uchqunli razryadni kuzatish mumkin. **Eng ulkan uchqun razryad-yashindir**. Yashin

bulutlar orasida yoki bulut bilan Er oralig'ida katta potentsiallar farqi vujudga kelishi natijasida paydo bo'ladi. Uchqun yaqinidagi gaz yuqori temperaturalargacha qiziydi va keskin kengayadi. Bu esa o'z navbatida tovush to'lqinlarining vujudga kelishiga sabab bo'ladi. Yashinning uzunligi 50 km gacha, tok kuchi esa 20000 A gacha etadi. Shuning uchun ham yashin tufayli vujudga keladigan tovush, ya'ni momoqaldiroq juda kuchli bo'ladi.

3) **Yoy razryad.** Agar kuchli manbadan uchqunli razryad olib, so'ngra elektrodlar orasidagi masofani kamaytirsak razryad uzviy razryadga aylanadi. Natijada yoy razryad hosil bo'ladi. Bunda tok kuchi keskin ortib bir necha yuz amperga etadi, razryad oralig'idagi kuchlanish esa bir necha o'n vol'tga pasayadi. Bunda elektrodning temperaturasi (2500-4000)^os gacha ko'tariladi. Teperaturaning bu qadar ko'tarilishi metallarni payvandlashda, kuchli yorug'lik tarqatilishi esa yoy lamapalarda foydalaniladi.

4) **Tok razryad.** Nihoyatda kuchli, notekis elektr maydoni ta'siri ostida kuzatiladi. Masalan katta kuchlanishli tokga ega bo'lgan elektr toklarni o'tkazuvchi va Er dan tashkil topuvchi tizimni-kondensatorning ikki qoplamasi deb olish mumkin. Bu kondensatordagi elektr maydon notekis bo'lib, maydon kuchlanganligi sim yaqinida juda katta qiymatga erishadi. Shuning uchun bu sohada simni har tomondan o'rab oluvchi nurlanish tok razryad paydo bo'ladi. Tok razryad shuningdek, elektrodning uchlik qismlarida, kema machtalari va daraxtlarning uchlarida ham kuzatiladi.

Plazma haqida tushuncha.

Yuqori darajada ionlashgan, lekin kichik makroskopik hajmda elektroneytral (ya'ni musbat va manfiy zaryadlar soni amalda o'zaro teng) bo'lgan gaz *plazma* deb ataladi. Ionlashganlik darajasi $\alpha = 1$ bo'lsa, plazma to'liq, aks holda to'liqsiz ionlashgan bo'ladi. Plazmani ikki usul bilan hosil qilish mumkin:

1. O'ta yuqori temperaturalargacha qizdirilgan gaz molekulasi o'zaro to'qnashuvlari tufayli ionlanish sodir bo'ladi. Masalan $T > 10000$ K da har qanday modda plazma holatida bo'ladi. Barcha yulduzlar, xususan quyosh ham ana shunday yuqori temperaturali plazmadan iborat.

2. Gazdan elektr tok o'tishi (elektr razryad) jarayonida ham plazma hosil bo'ladi. Lekin, bunda ionlar elektronlarning temperaturalari keskin farq qiladi. Masalan, yolqin razryadda elektronlar temperaturasi 10000 K bo'lsa, ionlar temperaturasi esa 2000 K dan ortmaydi.

Erning ionosferasidagi plazma Quyosh nurlanishi tufayli atmosferadagi gaz molekularining fotoionlashuvi natijasida vujudga keladi. Plazma radioto'lqinlarni qaytaradi, chunki u elektromagnit maydon bilan ta'sirlashadi.

Plazmaning eng asosiy xususiyati uning kvazineytralligidir. Plazmada katta elektr maydonlar vujudga kelmaydi. Buning sababi quyidagicha: plazmaning biror qismida ionlarning to'planib qolishi natijasida vujudga kelgan elektr maydon chiqib ketayotgan elektronlarga tormozlovchi ta'sir ko'rsatadi, so'ng ularni orqaga qaytaradi. Shu tarzda elektronlarning tebranish harakati vujudga keladi. Bu tebranishlarning chastotasi va amplitudasi quyidagicha aniqlanadi:

1. Plazma tebranishlarining chastotasi (**Lengmor chastotasi**):

$$\omega = \sqrt{\frac{e^2 n_e}{\epsilon_0 m_e}}$$

bunda e - elektron zaryadi, m_e – uning massasi, n_e – elektronning konsentratsiyasi.

2. Plazmada zaryadlar fazoviy ajraladigan masofaning maksimal qiymati (**Debay radiusi**):

$$\lambda_D = \sqrt{\frac{\epsilon_0 k T_e}{e^2 n_e}}$$

Bunda k – Bolts'man doimiysi, T_e – plazmadagi elektronlarning termodinamik temperaturasi.

Debay radiusi λ_D zaryadlarning fazoviy ajralish masshtabini, plazma chastotasi ω esa zaryadlarning ajralmagan holatga qaytish davrini, ya'ni plazmaning zaryad jihatdan neytralligini tiklash davrini xarakterlaydi. Bu ikki kattalik plazmaning asosiy xarakteristikalarini hisoblanadi.

Plazmadan yaqin kelajakda quyidagi yo'nalishlarda foydalanish mumkin:

1. Boshqaruvchi termoyadro reaksiyalarida;
2. Magnitogidrodinamik generatorlarda

Mustaqil ta'limda o'rganish uchun material

Yarim o'tkazgichlar va ularning xossalari.

O'tkazgichlar 10^{-7} Om.m (va undan kichik) solishtirma qarshilikka, dielektriklar esa 10^8 Om.m (va undan katta) solishtirma qarshilikka ega bo'ladilar. Yarim o'tkazgichlar nomini olgan ko'pgina moddalar uchun esa u $10^{-6} - 10^8$ Om.m qiymatlar oralig'ini tashkil etadi.

Yarim o'tkazgichlar ham metallar kabi birinchi turdagi o'tkazgichlar bo'lib, ulardagi tok tashuvchilar elektronlar hisoblanishadi. Bu moddalardan tok o'tganida ularning ximiyaviy tarkibi o'zgarmaydi. Ayni paytda ular metallardan juda katta farq qiladilar. Agarda metallardagi erkin elektronlar konsentratsiyasi temperaturaga bog'lig'masligiga e'tiborni qaratsak, yarim o'tkazgichlar temperaturasining ko'tarilishi esa uning keskin o'sishiga olib kelishini kuzatishimiz mumkin. Aksincha, temperatura pasaysa yarim o'tkazgichlardagi erkin elektronlar konsentratsiyasi kamayib, u absolyut nol temperaturada ideal dielektrikka aylanib qoladi. Elektrolitlardagi kabi yarim o'tkazgichlarda ham qarshilikning temperaturaviy koeffitsienti manfiy qiymatga ega, shuningdek uning absolyut qiymati toza metallar qarshiligining temperaturaviy koeffitsientidan o'nlab marta katta bo'ladi (temperatura 1 K ga ko'tarilsa metallning qarshiligi o'rta hisobda 0,004 ga oshadi, yarim o'tkazgichning qarshiligi esa o'rta hisobda 0,06 ga kamayadi).

Shunday qilib, elektronlar qo'shni atomlarning ta'siri ostida erkin holatga o'tadigan metallardan farqli o'laroq yarim o'tkazgichlarda bu jarayon issiqlik harakati tufayli sodir bo'ladi. Har bir elektronning ajralib chiqishi va erkin holatga o'tishi uchun har safar mazkur yarim o'tkazgichni xarakterlovchi va faollashtirish energiyasi deb ataluvchi, ma'lum bir energiyani sarflash lozim bo'ladi. Elektronning qaytadan bog'langan holatga o'tishida esa bu energiya yana issiqlik tebranishlari energiyasiga aylanadi.

Elektronlarning uzilib chiqishi doimo teskari jarayon, ya'ni elektronlarning erkin holatdan bog'liq holatga o'tishi bilan birgalikda sodir bo'ladi. Barqarorlashgan temperaturada bu ikki jarayon bir-birini kompensatsiyalaydi va ozod bo'lgan elektronlarning konsentratsiyasi doimiy bo'lib qoladi. Lekin, agar yarim o'tkazgichni qizdirsak, unda elektronlarning uzilishi oshadi va ularning konsentratsiyasi ham o'sadi. Bu jarayon temperaturaning ko'tarilishini to'xtagunchi va yoki dinamik muvozanat yaratilmaguncha davom etadi. Temperatura pasayganida esa teskari jarayon kuzatiladi. Har bir temperaturaga mazkur yarim o'tkazgichning birlik hajmiga ma'lum sondagi erkin elektronlar mos keladi.

Yarim o'tkazgichlardagi erkin elektronlarning konsentratsiyasi unda aralashmaning mavjudligiga kuchli tarzda bog'liq bo'ladi. Aralashmaning arziyas kichik miqdori yarim o'tkazgichning o'tkazuvchanligini million marta orttirishi mumkin. Bu aralashma atomlardagi elektronlarning ajralishi kristall panjara atomlarnikidan, ancha oson kechishi bilan izohlanadi. Shuning uchun yarim o'tkazgichlarda xususiy va aralashmali o'tkazuvchanlik sodir bo'ladi.

Yarim o'tkazgichdagi erkin elektronlar konsentratsiyasi elektromagnit nurlanish (infragizil nurlar, yorug'lik nuri, ul'trabinafsha va rentgen nurlari, φ -nurlar) ta'sirida va yoki korpuskulyar nurlanish (elektronlar oqimi, α -zarrachalar va h.k.) ta'siri ostida, keskin ortadi. Bu nurlar bog'liq elektronlarga faollashtirish energiyasini berib, ularni erkin holatga olib o'tadi.

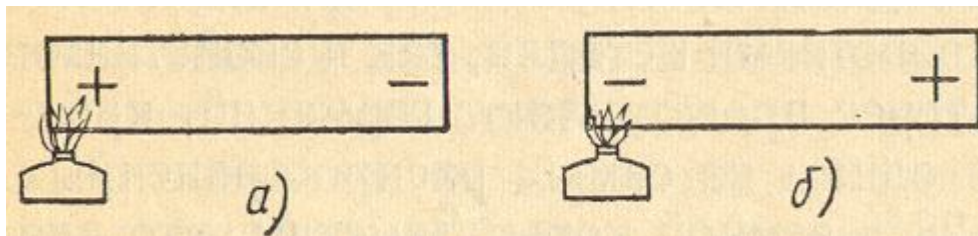
Yarim o'tkazgichlarning o'tkazuvchanligiga deformatsiya ham o'zining ta'sirini o'tkazadi. Chunki bu holda atomlar orasidagi masofaning o'zgarishi-faollashtirish energiyasi va elektron erkin yurish yo'li uzunligining o'zgarishiga olib keladi. Turli yarim o'tkazgichlar uchun bu ta'sirning ishorasi turlicha bo'lishi mumkin.

Metallardagi erkin elektronlarning tezligi temperaturaga bog'liq holda deyarli o'zgarmaydi, bundan farqli o'laroq yarim o'tkazgichlardagi ajralgan elektronlarning tezligi xuddi gaz molekulalari singari, temperaturaga bog'liq holda o'sadi. Bunda klassik tasavvurlar to'la o'rinlidir.

Mendeleev jadvalining asosan 4,5 va 6- guruxdagi bir qator (B, C, Si, Sn, P, S, Ge, As, Tl) elementlari, ko'pgina minerallar, oksidlar, sul'fidlar, telluridlar, metall selenidlari yarim o'tkazgichlarga misol bo'lishlari mumkin. Bu moddalarning ba'zi birlari faqat ma'lum bir usulda tayorlanganida va ma'lum bir xolatni egallagandagina yarim o'tkazgich bo'la oladi. Aytaylik, misol uchun uglerod olmos qiyofasida dielektrik, grafit qiyofasida esa uning kristall o'qiga nisbatan tokning yo'nalishiga bog'liq holda, yo o'tkazgich yoki yarim o'tkazgich hisoblanadi. Yarim o'tkazgichlar ichida germaniy, kremniy va tellur eng ko'p qiziqish uyg'otadi. Kremniy er sharidagi eng ko'p tarqalgan element bo'lib, u er qobig'ining 28% tashkil etadi. Germaniyning xususiy o'tkazuvchanligini o'rganish uchun undagi aralashma foizning o'n milliarddan bir ulushidan oshmasligi kerak. Shunday tozalash darajasiga allaqachon erishganmiz.

Yarim o'tkazgichlar o'tkazuvchanligining ikki mexanizmi.

Yarim o'tkazgichli materialdan tayyorlangan simning bir uchini qizdirib, ikkinchisini esa sovuqligicha qoldiramiz va uning elektrik holatini o'rganamiz. Tajribaning ko'rsatishicha, simning ikki uchi turlicha zaryadlanib qoladi, lekin uning qizigan uchi bir holda musbat va ikkinchi holda manfiy zaryadlanadi.



1- rasm

Nima sababdan simning qizigan uchi musbat zaryadlanishini tushinish qiyin emas. Temperatura o'sganida simning qizigan uchida ozodlikka erishgan elektronlar konsentratsiyasi ham oshadi, lekin simning sovuq uchida konsentratsiya pastligicha qolaveradi. Elektron gazi zichligining gradienti hosil bo'ladi va natijada elektronlarning zaryadlashish bilan sodir bo'luvchi, diffuziyasi boshlanadi. Simning sovuq uchida ortiqcha elektronlar to'planib u manfiy zaryadlanadi. Uning issiq uchi, aksincha bir qism elektronlarni yo'qotib musbat zaryadlanadi (1a-rasm).

Tajriba yana bir marta mazkur yarim o'tkazgichdagi zaryad tashuvchilar elektronlar ekanligini tasdiqladi.

Lekin, simning qizigan uchi manfiy zaryadlanib qoladigan holatlarni qanday izohlash mumkin? Albatta yarim o'tkazgichlarda massasi elektron massasiga teng keluvchi, musbat ishorali zarrachalar mavjud emas. Ammo ularning ba'zilarida elektronlarning xarakati shunday xarakter kasb etadiki, unda xuddi elektron o'rniga alohida, musbat zaryadlangan zarrachalar siljigandek natija olinadi.

Buni aralashmali yarim o'tkazgichlar misolida tushuntirish mumkin. Aytaylik, juda kichik xususiy o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan yarim o'tkazgichga aralashma kiritilsa, uning har bir atomi bittadan ortiqcha elektronni o'ziga osongina birkirib, tezda manfiy ionga aylanib qoladi. Aralashma atomi-kristall panjara atomidan bir elektronni o'ziga biriktirib olishi bilan unda «bo'sh» joy paydo bo'ladi. Bu joyni biror qo'shni atomlardan sakrab o'tuvchi elektron egallab, to'ldirishi mumkin. Agar bu xodisa sodir bo'lsa, unda bo'sh «joy» panjaraning boshqa tugunida hosil bo'ladi va yana uni boshqa qo'shni atom elektroni egallaydi. Shu asnoda, bunday bo'sh joylar kristall bo'ylab siljib, panjara hosil qilib turgan atomlarga tegishli elektronning yangi, o'ziga xos estafetali harakat imkoniyatini yaratadi. Bo'sh joylar kristall ichida ulqib yurgani uchun ularning ko'chishlari molekulalarning tartibsiz issiqlik harakatini eslatadi. Tashqi elektr maydon ta'sirida elektronlar maydonga qarshi va bo'sh joylar esa maydon bo'ylab ko'chadi. Shunday xayoliy musbat zaryadli zarrachani (yoki valent zonaning elektronlardan bo'shagan bo'sh o'rinlarini) **teshik** deb yuritiladi. Berilgan paytda teshik qaerda joylashgan bo'lsa o'sha erda bitta elektron etmaydi va demakki ortiqcha musbat zaryad mavjud bo'ladi.

Yarim o'tkazgichning temperaturasi ko'tarilsa, atalashma atomlarining elektronlarni egallab olish ehtimoli ham oshadi (panjara atomidan elektronning uzilib ketishi, issiqlik tebranishlari energiyasi hisobiga sodir bo'ladi) va mos holda teshiklar kontsentrtsiyasi ko'payadi. Teshik hosil bo'lish barobarida unga teskari jarayon ham yuz beradi. Qachonki teshik-ortiqcha elektronni o'ziga biriktirib olgan-aralashma atomi (manfiy ion)ga yaqinlashsa bu elektron bo'sh joyga o'tib, teshik yo'qoladi va natijada aralashma atomi neytron bo'lib qoladi. Shu sababli teshiklar yarimo'tkazgichlarda to'planib qola olmaydilar va har bir temperaturaga ularning ma'lum bir kontsentratsiyasi mos keladi.

Teshik o'tkazuvchanlik simning bir uchini qizdirgan paytimizda teshiklar kontsentratsiyasi oshadi va o'zi bilan ortiqcha zaryadni olib, simning sovuq uchiga ko'chadi. (sovuq sohaga teshiklarning ko'chishi undan elektronlarning ketishi (uzoqlashishi)ni bildiradi). Bunda simning issiq uchi manfiy zaryadlanadi.

Aralashmasiz kristallardagi elektronlarning har bir ajralishida ham teshik hosil bo'lishini oson tushunish mumkin. Shunga ko'ra turli tipdagi aralash o'tkazuvchanlik mavjud bo'ladi degan xulosaga kelinadi.

O'tkazuvchanlikni yuzaga keltiruvchi elektronlar bilan ta'minlovchi aralashma atomlari **donorlar** deb ataladi. Teshiklarni yuzaga keltiruvchi aralashmalarni **antseptorlar** deyiladi. Agar kremniy kristallining birinchi yarim bo'lagiga aktseptor aralashma (masalan, bo'r), ikkinchi yarim bo'lagiga esa donor aralashma (masalan mish'yak) kiritsak, unda bir paytda ikki turdagi o'tkazuvchanlik sohasiga ega bo'lamiz. Ular orasidagi chegara **elektronli teshikli o'tish** yoki **r-p o'tish** deb ataladi.

Yarim o'tkazgichlarning qo'llanilishi.

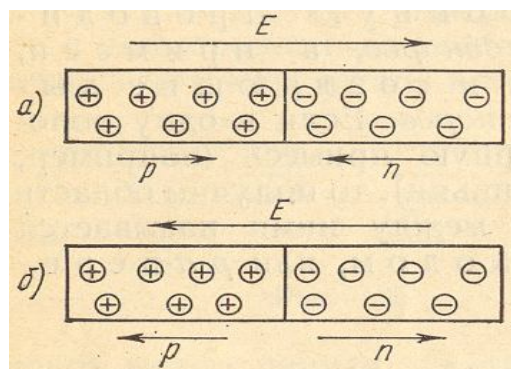
Yarim o'tkazgichlar o'tkazuvchanligining turli tashqi ta'sirlarga bog'liq bo'lishi hamda r-p o'tishlarining ajoyib xossalari tufayli ular texnikaning turli sohalarida keng qo'llaniladi. Ulardan ba'zi birlarini ko'rib chiqamiz.

1. **Temperaturani o'lchash.** Temperatura ko'tarilganda yarim o'tkazgichlarning o'tkazuvchanligi keskin oshadi, 100°S ga qizdirilganda, u ba'zi yarim o'tkazgichlarda 50 marta ortadi. Ularning bu xossasi-ulardagi katta solishtirma qarshilik bilan birgalikda qaralsa yarim o'tkazgichdan temperaturani o'lchashda foydalanish imkoniyatini yaratadi. Yarim o'tkazgich qarshiligining o'zgarishiga qarab uning temperaturasi baholanadi. Temperatura o'zgarishiga o'ta sezgir yarim o'tkazgichlarni **termistorlar** deyiladi. Ularning o'lchami juda kichik (millimetrning ulushi) bo'lishi mumkin. Shu tufayli, ular mayda jismlar va kichik issiqlik o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan jism (daraxt bargi, inson terisi va h.k) larning temperaturasani o'lchashga, shuningdek temperaturaning juda tez o'zgarishlarini kuzatishga imkon yaratadi. Termistorni gal'vanometr uzoq masofaga joylashtirishi mumkin. Uning qarshiligi juda (etarlicha) katta bo'lgani uchun unga bog'lanuvchi o'tkazgichlarning

qarshiligini e'tiborga omaslik mumkin. Biron kuzatish punktidan turib, bitta va yoki bir-biridan uzoqda joylashgan bir nechta binolarning turlicha nuqtalaridagi temperaturani o'lchash imkoni paydo bo'ladi. Uning sezgir gal'vanometr yordamida temperaturani $0,0005^{\circ}\text{S}$ aniqlikkacha o'lchash mumkin.

2. **Tok va kuchlanishni sozlash.** Yarim o'tkazgichdan tok o'tganida u qiziydi va qarshiligi esa kamayadi. Buning natijasida tok oshib temperaturaning ko'tarilishiga olib keladi. Bu jarayon, yarim o'tkazgich sirtidan atrof muxitga uzatiladigan issiqlik tokim tokda ajralayotgan issiqlikka tenglashmaguncha davom etadi. Maksimal tok hosil bo'lish vaqti sekundining bir necha o'nli ulushidan tortib to o'nlab minutgacha davom etishi mumkin. Bunda yarim o'tkazgichlar avtomatik ishga tushiruvchi reostatlar rolini bajaradi. releni qo'llab biror elektr qurilmasi ma'lum payt ishqalagach ikkinchini ulash mumkin va x.k. shuningdek, yarim o'tkazgichlar yordamida zanjirning biror qismida doimiy kuchlanishni ushlab turishi mumkin.

3. **Yarim o'tkazgichli to'g'rilagichlar.** $r-p$ o'tish mavjud bo'lgan elektronli va teshik yarim o'tkazgichlardan tuzilgan zanjirning qismini ko'rib chiqamiz. Agar bu qismda teshikli o'tkazgichdan elektronli o'tkazgichga tomon \vec{E} elektrik maydon hosil qilinsa, unda teshik va elektronlar bir-birlari tomon intilib harakatlanadilar va uchrashganlari zaxoti rekombinatsiyalashadilar (elektronlar teshiklarni egallaydi).



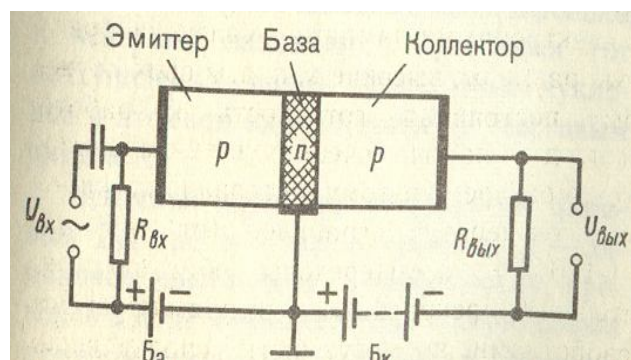
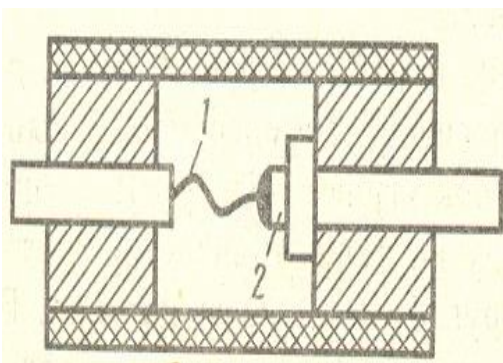
2-rasm

Maydonning bunday yo'nalishida $r-p$ o'tish sohasi tokka qarshilik yaratmaydi. Aksincha \vec{E} ning teskari yo'nalishida esa teshiklar va elektronlar bir-birlaridan qochadi va $r-p$ o'tish chegarasi yaqinida katta qarshilik namoyon qiluvchi, umumiy zaryad tashuvchilar qatlami qosil bo'ladi. O'zgaruvchan tok zanjirida bu soha to'g'irlagich singari ta'sir etadi, ya'ni u tokni faqat bir yo'nalishda o'tkazadi.

Birinchilardan bo'lib selenli to'g'rilagichlar ishga tushirilgan. Nikkelangan temir plastinka sirtiga teshik o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan selen qatlami suriladi. Selen o'z navbatida kadmiy olova va vismum qotishmasi bilan qoplanadi. Qizdarib undan tok o'tkazganidan so'ng selen chegarasida elektronli yarim o'tkazgich sanaluvchi selenli kadmiy hosil bo'lib, $r-p$ o'tish vujudga keladi. Hozirgi kunga kelib, germaniyli va kremniyli to'g'rilagichlar ko'plab ishlatilmoqda.

Yuqorida ko'rib o'tilgan maqsadlarda ishlatiladigan qurilmalarni yarim o'tkazgichli diod va triod (tranzistor) lar deb nomlanadi. Misol tariqasida nuqtaviy germaniyli diodni ko'rib chiqamiz. Bunda yupqa vol'fram tola 1 ning alyuminiy bilan qoplangan o'tkir uchini p -germaniy 2 ga mahkamlab taqaymiz. Agar diod orqali to'g'ri yo'nalishida qisqa muddatli tok impul'si o'kazilsa, u holda Al dagi Ge dagi diffuziyasi keskin ortib, r -o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan hamda alyuminiy bilan to'yingan, germaniy qatlami paydo bo'ladi. Bu qatlam chegarasida katta to'g'rilash koeffitsientiga ega bo'lgan $r-p$ o'tish kuzatiladi (3-rasm). Birinchi tranzistor amerikalik fiziklar D.Bardin, U.Bratteyn va U.Shokli tomonidan 1949 yilda yaratilgan.

Tranzistor tayorlash uchun katta mexanik mustaxkamlikka, ximiyaviy barqarorlikka va tok tashuvchilar bo'yicha eng katta harakatchanlikka ega bo'lgan germaniy va kremniy ishlatiladi. Tranzistorlar nuqtaviy va tekislikli tranzistorlarga bo'linadi. Shulardan birinchisi kuchlanishni sezilarli oshiradi, lekin ularning chiqish quvvati kuyib qolmasligi uchun kichik olinadi (masalan nuqtaviy germaniyli tranzistorning ishchi temperaturasi $50-80^{\circ}S$ dan oshmaydi). Tekislikli tranzistorlarning quvvati ancha katta bo'ladi. Misol tariqasida $r-p-r$ tipidagi tekislikli tranzistorning ish printsipini ko'rib chiqaylik (4-rasm).



Tranzistor baza (uning o'rta qismi), emitter va kollektor (o'ng va chap qismi bo'lib, ular boshqa tipdagi o'tkazuvchanlikka ega)lardan tashkil topadi. Emitter va baza orasiga to'g'ri yo'nalishda, baza va kollektor orasiga esa teskari yo'nalishda ta'sir etuvchi doimiy siljitivchi kuchlanish beriladi. Kuchaytirilayotgan o'zgaruvchan kuchlanish kirish qarshiligi R_k ga beriladi, kuchaytirilgandan so'ng esa chiqish qarshiligi R_c dan olinadi. Emitter zanjiridan tok o'tishi asosan teshiklarning harakati iufayli kuzatiladi va ularning ba'zi sohasiga «purkalishi» injeksiya bilan sodir bo'ladi. Bazaga kirgan teshiklar kollektor yo'nalishida diffuziyalanadi va aytish mumkinki kichik qalinlikli bazada injeksiyalangan teshiklarning asosiy qismi kollektorga etib boradi. Bunda teshiklar o'tish qismining ichida ta'sir qiluvchi maydon tomonidan egallanadi va kollektordagi tokni o'zgartiradi. Albatta, emitter zanjiridagi tokning har qanday o'zgarishi kollektor zanjiridagi tokning o'zgarishiga olib keladi.

Emitter va baza orasiga o'zgaruvchan kuchlanish bo'lib, kollektor zanjirida o'zgaruvchan tok, chiqishi qarshisida esa o'zgaruvchan kuchlanish olamiz. Kuchayish miqdori $r-p$ o'tishlarning xossasiga, kuchlanishi tushuvchi qarshiliklarga, B_k batareyaning kuchlanishiga bog'liq bo'ladi. U 10000 gacha etishi mumkin. Yuqorida ko'rib o'tkanimizdan quyidagicha xulosa kelib chiqadi:

Tranzistor, elektronlampa singari kuchlanish va quvvatni kuchaytirib beradi. Agar anod toki lampada setkadagi kuchlanish bilan boshqarilsa, tranzistorda kollektor toki bazadagi kuchlanish orqali boshqariladi.

$P-r-p$ tipidagi tranzistorlarning ishlash printsipini ham yuqorida ko'rganimiz singaridir, lekin bunda teshik rolini elektronlar bajaradi. Tranzistorlarning elektron lampalar oldidagi afzallik (yutuq)lari quyidagilardan iborat:

- Kichik o'lchamlarga ega ekanligi;
- F.I.K yuqoriligi va uzoq muddat xizmat qilishi;
- Kam quvvat istemol qilishi (cho'g'lanuvchi katod yo'qligi);
- Vakuumba ehtiyoj yo'qligi;

Shular tufayli tranzistorlar elektron aloqa vositalari sohasida revolyutsiya yasab, ulkan xotirali o'ta tez ishlaydigan E.H.M larning yaryatilishiga imkon beradi.

Sinov savollari

1. Ionlanish va rekombinatsiya jarayonlarini tushuntiring?
2. Mustaqil va nomustaqil gaz razryadlarning farqi nimada? Ularning mavjud bo'lish shartlarini aytib bering?
3. Mustaqil gaz razryadda to'yinish toki, hosil bo'la oladimi?
4. Mustaqil gaz razryad turlarini sanab bering. Ularning har birining o'ziga xosligi nimada?
5. Yashin qanday gaz razryadga mansub?
6. Gaz razryadning xarakteri qanday faktorlarga bog'liq?
7. To'yinish tokining zichligi nimalarga bog'liq?
8. YOy razryaddan qanday maqsadlarda foydalaniladi?
9. Plazma qanday hosil bo'ladi?
10. Plazmaning asosiy xossalarini aytib bering?
11. Yarim o'tkazgichlarning metallardan printsipial farqi nimadan iborat?
12. Faollashtirish energiyasi nima?
13. Yarim o'tkazgichlardagi elektronlarning kontsentratsiyasi nimalarga bog'liq?
14. Yarim o'tkazgichlar o'tkazuvchanligi deformatsiyaga qanday bog'liq?
15. Yarim o'tkazgichlarga misollar keltiring?
16. «Bo'sh» joy hosil bo'lish mazmunini tushuntiring?
17. Yarim o'tkazgichlarda aralashma moddaning roli qanday?
18. Donor va aktseptor aralashmani farqlab bering?
19. Yarim o'tkazgichlarning qo'llanilishi haqida tushuntirib bering?
20. Yarim o'tkazgichli triod yoki tranzistorning ishlash printsipini tushuntiring?

7-Ma'ruza rejasi

- Kirish
- Magnit maydon va uning xarakteristikalarini

- Bio – Savar – Laplas qonuni va uning magnit maydonlarini hisoblash uchun qo'llanilishi.
- Amper qonuni. Parallel toklarning o'zaro ta'sirlashuvi.
- Harakatdagi zaryadning magnit maydoni. Lorents kuchi.
- Magnit induksiya vektori oqimi. Magnit maydon uchun Gauss teoremasi.
- Tokli o'tkazgichni magnit maydonida ko'chirishda bajariladigan ish.

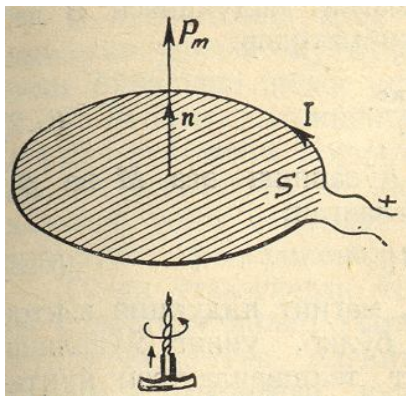
Mustaqil ta'lim

- Zaryadli zarrachaning magnit maydonidagi harakati. Tezlatgichlar.
- Vakuumba, magnit maydon uchun induksiya vektorining tsirkulyatsiyasi. Xoll effekti.

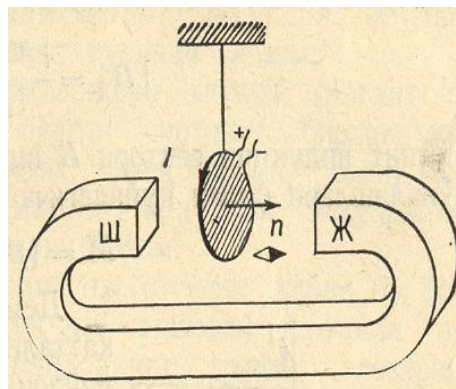
Magnit maydon va uning xarakteristikalarini

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 (1- rasm) da ko'rsatilgan.



1-rasm



2- rasm

Berilgan nuqtadagi magnit maydon yo'nalishi sifatida, shu nuqtaga joylashtirilgan tok konturining musbat yo'nalishi olinadi (2-rasm). Shuningdek, shu nuqtadagi magnit strelkasi (ignasi) ning shimoliy qutbiga 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 xossalari hamda konturning xossalari bog'liq bo'ladi.

$$\vec{M} = [\vec{P}_m \vec{B}]$$

bunda \vec{B} - magnit induksiya vektori bo'lib, u magnit maydonning miqdoriy xarakteristikasi hisoblanadi, \vec{P}_m - tokli konturning magnit momenti vektori. I tok o'tayotgan yassi kontur uchun:

$$\vec{P}_m = I S \vec{n}$$

bunda S - kontur sirtini yuzasi, \vec{n} - konturning sirtiga o'tkazilgan normalning birlik vektori. P_m ning yo'nalishi musbat normal yo'nalishi bilan ustma – ust tushadi.

Magnit maydonini magnit maydon induksiyasi xarakterlaydi:

$$B = M_{\max} / P_m$$

Magnit maydonining grafikasini esa **magnit induksiya chiziqlari** yordamida ifodalash mumkin. Ularning har bir nuqtasiga o'tkazilgan urinma shu nuqtadagi \vec{B} vektorning 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 ilgarilanma harakatga keltirilsa, unda vint dastasi magnit induksiya chiziqlari yo'nalishida aylanadi.

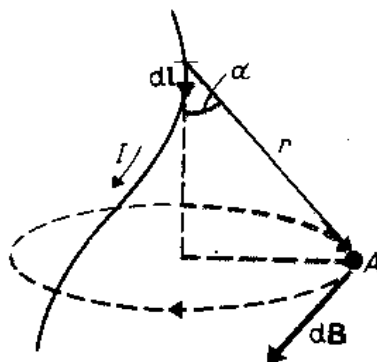
Magnit induksiya chiziqlari doimo berk va tokli o'tkazgichni qamrab oluvchi tarzda joylashadi.

Makrotoklar hosil qiluvchi magnit **maydonini magnit maydon kuchlanganlik vektori** \vec{H} orqali tavsiflanadi. Bir jinsli, izotrop muhit uchun: $\vec{B} = \mu_0 \mu \vec{H}$ bunda μ_0 magnit doimiysi, μ - muhitning magnit singdiruvchanligi bo'lib, u makrotok magnit maydon \vec{H} - muhitning mikrotoklari hisobiga necha marta kuchayishini ko'rsatadi.

Bio - Savar – Laplas qonuni va uning magnit maydonlarini hisoblash uchun qo'llanilishi.

I tok o'tayotgan o'tkazgichning dl elementi, o'zidan r masofada yotuvchi ixtiyoriy nuqtasidagi $d\vec{B}$ maydon induktsiyasi **Bio – Savar – Laplas qonuniga** ko'ra quyidagicha ifodalanadi:

$$d\vec{B} = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I [d\vec{l}, \vec{r}]}{r^3}$$



3-rasm

bunda $d\vec{l}$ - modul bo'yicha dl - tok elementiga teng bo'luvchi va tok bilan bir xil yo'nalish oluvchi vektor. $\vec{r} = dl$ tok elementidan maydonning A nuqtasiga o'tkazilgan radius vektor bo'lib, uning moduli r ga teng.

$d\vec{B}$ vektorning yo'nalishi, $d\vec{l}$ va \vec{r} vektorlar yotadigan tekislikka perpendikulyar bo'lib, u **o'ng vint qoidasi** yordamida aniqlanadi.

$d\vec{B}$ vektorning moduli quyidagicha ifodalanadi.

$$dB = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{Idl \sin \alpha}{r^2}$$

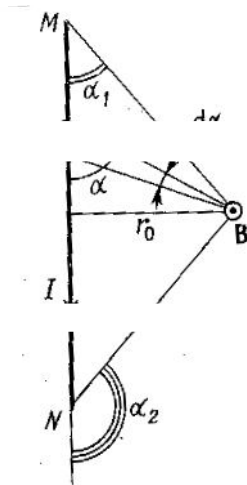
bunda α - $d\vec{l}$ va \vec{r} vektorlar orasidagi burchak.

Xuddi elektrostatik maydonlar singari, magnit maydoni uchun ham **superpozitsiya printsipli** o'rinli:

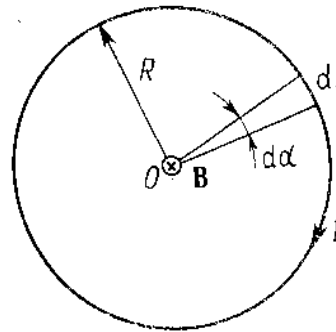
$$\vec{B} = \sum_{i=1}^n \vec{B}_i$$

1. To'g'ri tokning magnit maydoni (tokli, cheksiz uzun, ingichka, to'g'ri o'tkazgichning maydoni).

O'tkazgichning o'qidan R masofada yotuvchi istalgan A nuqtada barcha tok manbalari hosil qiladigan $d\vec{B}$ vektorlarining yo'nalishlari bir xil chizma tekisligiga perpendikulyar ya'ni bir tomonga yo'nalgan bo'ladi (4-rasm).



4-rasm



5-rasm

Shu sababli $d\vec{B}$ vektorlar yig'indisini ular modullarining yig'indisi bilan almashtirish mumkin.

$$r = \frac{R}{\sin \alpha}, \quad dl = \frac{rd\alpha}{\sin \alpha}$$

ekanligini e'tiborga olib, bir dona tok elementi hosil qiladigan magnit induktsiyasini aniqlaymiz:

$$d\vec{B} = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi R} \sin \alpha d\alpha$$

To'g'ri tokning barcha tok elementlari uchun $0 \leq \alpha \leq \pi$ shart bajariladi. Shunga ko'ra:

$$B = \int dB = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I}{R} \int_0^\pi \sin \alpha d\alpha = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{2I}{R}$$

Shunday qilib, **to'g'ri tokning magnit maydon** induktsiyasi quyidagigina teng bo'lar ekan:

$$B = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{2I}{R}$$

2. 1) Tokli, doiraviy o'tkazgichning markazidagi magnit maydoni.

Bu holda ham barcha tok elementlari o'ramning markazidan normal yo'nalishiga mos keluvchi $d\vec{B}$ vektorlarini hosil qiladi (5-rasm). Shuning uchun \vec{B} vektorlarning yig'indisini ularning modullarining yig'indisi bilan

almashtiriladi. O'tkazgichning barcha tok elementlari radiusi vektorga perpendikulyar va ulardan doiraning markazigacha bo'lgan masofa R ga tengligi uchun:

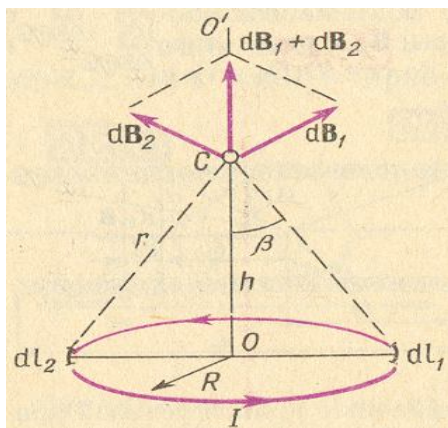
$$dB = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I}{R^2} dl$$

$$\text{Shunda } B = \int dB = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I}{R^2} \int_0^{2\pi} dl = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi R^2} \cdot 2\pi R = \mu\mu_0 \frac{I}{2R}$$

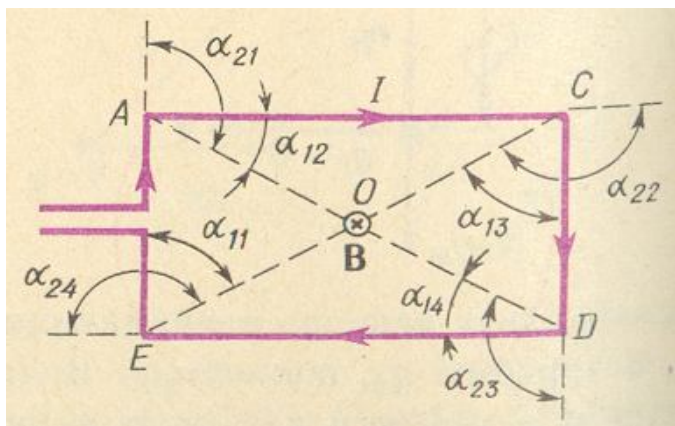
Demak, tokli doiraviy o'tkazgichning markazidagi magnit maydon induksiya quyidagicha bo'ladi: $B = \mu\mu_0 \frac{I}{2R}$

2) Tokli doiraviy o'tkazgichning doira markazidan o'tuvchi o'qdagi magnit maydoni.

O'ramning markazidan o'ram tekisligiga perpendikulyar tarzda OO' o'qini o'tkazamiz (6-rasm) I tok o'tayotgan o'ramdagi turli dl elementlar maydonlari uchun OO' o'qining S nuqtasidagi $d\vec{B} = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I}{r^3} [d\vec{l}, \vec{r}]$ vektorlarning yo'nalishlari ustma-ust tushmaydi.



6-rasm



7-rasm

Uning son qiymati quyidagicha aniqlanadi:

$$|d\vec{B}_1 + d\vec{B}_2| = 2dB_1 \sin \beta = \frac{\mu\mu_0 2IR dl}{4\pi r^3}$$

Butun o'ramning S nuqtadagi magnit maydon induksiya vektori \vec{B} ham OO' o'qi bo'ylab yo'nalgan bo'ladi, uning moduli esa:

$$B = \int_0^{2\pi R} \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{2IR}{r^3} dl = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{2I\pi R^2}{r^3}$$

Shunday qilib V ning qiymatini quyidagi formula orqali aniqlash mumkin:

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{2} \cdot \frac{R^2}{\sqrt{(R^2 + h^2)^3}}$$

3) Tokli, to'g'ri burchakli konturning markazidagi magnit maydon.

To'g'ri burchakli o'ram ASDEA ning O markazidagi magnit maydonini aniqlaymiz. O'ram chizma tekisligida yotibdi. I tok o'tayotgan EA , AS , SD va DE o'tkazgichlar hosil qilayotgan mos magnit induksiya vektori $\vec{B}_1, \vec{B}_2, \vec{B}_3$ va \vec{B}_4 ning yo'nalishlari bir xil bo'lib, u chizma tekisligiga perpendikulyar tarzda chizmaning ort tomoniga yo'naladi (7-rasm). Shu sababli O nuqtadagi natijaviy magnit induksiyaning $V = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3 + \vec{B}_4$ shaklida izlash mumkin.

$EA = SD = a$, $AS = DE = b$ deb belgilaymiz.

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi} \cdot \frac{I}{R} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2)$$

formuladan foydalanamiz:

$$B = [\mu\mu_0 / (4\pi)] [2(\cos \alpha_{11} - \cos \alpha_{21})/b + 2(\cos \alpha_{12} - \cos \alpha_{22})/a + 2(\cos \alpha_{13} - \cos \alpha_{23})/b + 2(\cos \alpha_{14} - \cos \alpha_{24})/a]$$

Lekin $\cos \alpha_{11} = \cos \alpha_{13} = \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}$ $\cos \alpha_{12} = \cos \alpha_{14} = \frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2}}$

$$\cos \alpha_{21} = \cos \alpha_{23} = -\sin \alpha_{12} = -\frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}$$

$$\cos \alpha_{22} = \cos \alpha_{24} = -\sin \alpha_{11} = -\frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2}}$$

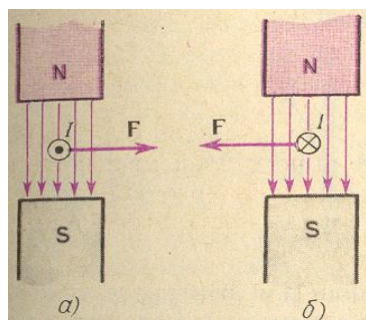
Bu qiymatlarni oldin yozilgan formulaga qo'yib, mos soddalashtirishlarni bajarsak, natijada tokli, to'g'ri burchakli konturning markazidagi magnit induksiya vektori uchun quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$B = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{8I\sqrt{a^2 + b^2}}{a \cdot b}$$

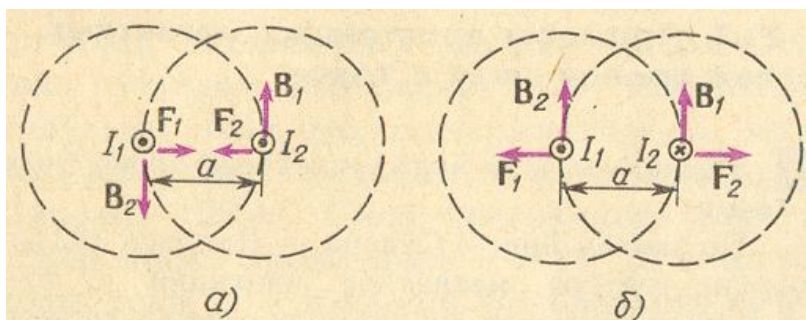
Amper qonuni. Parallel toklarning o'zaro ta'sirlashuvi.

Induktsiyasi \vec{B} bo'lgan magnit maydon shu maydonga kiritilgan tokli o'tkazgichning dl tok elementiga ko'rsatadigan $d\vec{F}$ ta'sir kuchi **Amper qonuni**ga muvofiq quyidagicha ifodalanadi:

$$d\vec{F} = I [d\vec{l}, \vec{B}]$$



8-rasm



9-rasm

Bunda $d\vec{F}$ ning yo'nalishi **chap qo'l qoidasi** bilan aniqlanadi: agar **chap qo'l panjasini** unga \vec{B} vektor kiradigan qilib joylashtirsak, to'rtta barmoq tok yo'nalishida bo'lsa, unda kerilgan bosh barmoq tokli o'tkazgichga ta'sir qiluvchi kuchning yo'nalishini ko'rsatadi:

Amper kuchining moduli esa:

$$dF = IBdl \sin \alpha$$

bunda α - $d\vec{l}$ va \vec{B} vektorlar orasidagi burchak. Shimoliy va janubiy magnit qutblari orasiga perpendikulyar holda joylashtirilgan tokli o'tkazgichga ta'sir etuvchi kuch 8-rasmda ko'rsatilgan.

Amper qonunidan foydalanib, tokli ikkita to'g'ri, o'zaro parallel cheksiz o'tkazgichlar orasidagi ta'sir kuchini aniqlaymiz (9-rasm). \vec{B}_1

vektorning yo'nalishi o'ng vint qoidasi bilan aniqlanadi, uning moduli quyidagiga teng:

$$B_1 = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{2I_1}{R}$$

\vec{B} maydon tomonidan ikkinchi tokning dl qisimga ta'sir qiluvchi $d\vec{F}_1$

kuchning yo'nalishi chap qo'l qoidasi bilan aniqlanadi. $\alpha = \pi/2$ bo'lgani uchun:

$$dF_1 = I_2 B_1 dl. V_1 \text{ ning qiymatini keltirib qo'yib, quyidagini olamiz: } dF = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{2I_1 I_2}{R} dl.$$

Xuddi shunday mulohaza yuritib, I_2 tokning magnit maydoni I_1 tokli birinchi o'tkazgichning dl elementiga ko'rsatadigan ta'sir kuchi $d\vec{F}_2$ teskari yo'nalishiga ega ekanligini ko'rsatish mumkin. $d\vec{F}_1$ va $d\vec{F}_2$ vektorlarning modullari o'zaro teng bo'ladi.

$$dF_2 = I_1 B_2 dl = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{2I_1 I_2}{R} dl$$

Xulosa sifatida bir xil yo'nalishiga ega bo'lgan ikki parallel toklar quyidagi kuch bilan o'zaro tortishadilar deb ta'kidlab o'tamiz:

$$dF_1 = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{2I_1 I_2}{R} dl = dF_2$$

Agar toklarning yo'nalishlari qarama-qarshi bo'lsa, bu toklar bir-biridan qochishadi.

Harakatdagi zaryadning magnit maydoni. Lorents kuchi.

Tokli, har qanday o'tkazgich o'zini o'rab turgan fazoda magnit maydoni hosil qiladi. Elektr tokli esa zaryadli zarrachalarning tartibli harakatidir. Shu sababli, vakuumda yoki muhitda harakatlanayotgan istalgan zaryadli zarracha o'zining atrofida magnit maydoni hosil qiladi deb qarash mumkin.

Tajribadan to'plangan faktlarni umumlashtirish natijasida \vec{g} norelyativistik tezlik bilan erkin harakatlanayotgan ($\vec{g} = const$) Q nuqtaviy zaryad o'zidan r masofada yotuvchi istalgan M nuqtada hosil qiladigan \vec{B} maydon induksiya vektori aniqlanadi:

$$\vec{B} = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{Q[\vec{g} \cdot \vec{r}]}{r^3}$$

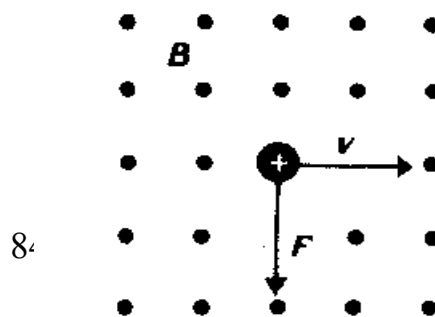
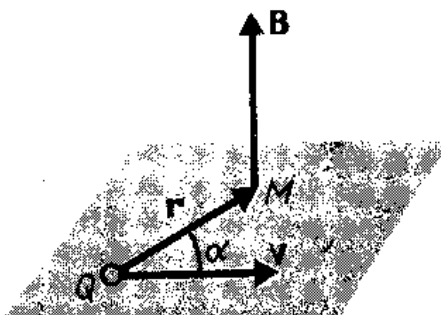
\vec{B} vektor \vec{g} va \vec{r} vektorda yotadigan tekislikka perpendikulyar yo'nalishini egallaydi (10-rasm).

Magnit induksiyasining moduli esa quyidagicha ifodalanadi:

$$B = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{Qg}{r^2} \sin \alpha$$

Yuqoridagilardan harakatdagi zaryad o'zining magnit xususiyatlari bo'yicha tok elementiga ekvivalent ekanligi namoyon bo'ladi: $I d\vec{l} = Q\vec{g}$.

Ko'rilgan qonuniyatlar zaryadlarning kichik tezliklari ($g \ll c$) dagina o'rinli bo'ladi, maydon esa elektrostatik maydon xossalarini namoyon qilayotgan bo'lishi lozim. Harakatlanayotgan zaryadning magnit maydoni nisbiylik xususiyatiga ega.



10-rasm

11-rasm

Tajriba, magnit maydoni nafaqat tokli o'tkazgichlarga va balki shu maydonda harakatlanuvchi alohida zaryadlarga ham ta'sir qilishini ko'rsatadi. Induktsiyasi \vec{B} bo'lgan magnit maydonda \vec{v} tezlik bilan harakatlanayotgan Q elektr zaryadiga shu maydon tomonidan ta'sir etuvchi kuch \vec{F} kuchni **Lorents kuchi** deyiladi:

$$\vec{F} = Q[\vec{v} \times \vec{B}] \quad \text{yoki} \quad F = QvB \sin \alpha$$

bunda α – \vec{v} va \vec{B} vektorlar orasidagi burchak.

Lorents kuchining yo'nalishi **chap qo'l qoidasi** orqali aniqlanadi (11-rasm). Manfiy zaryadga kuch teskari yo'nalishda ta'sir qiladi. Magnit maydoni elektr maydonidan printsiptial farq qilib, faqat xarakatdagi zaryadlagagina ta'sir etadi.

Lorents kuchi xarakatdagi zaryadli zarrachaning tezlik yo'nalishiga perpendikulyar tarzda ta'sir qiladi. Shuning uchun u tezlikning son qiymatini emas, balki faqat yo'nalishini o'zgartirishi mumkin. Shu sababli mexanik ish bajara olmaydi.

Agar harakatdagi zaryadga magnit va elektr maydonlari bir vaqtda ta'sir qilsa, unda:

$$\vec{F} = Q\vec{E} + Q[\vec{v} \times \vec{B}]$$

Bu ifodani **Lorentsning umumlashgan formulasi** deb yuritiladi. Bundagi \vec{v} tezlik zaryadining magnit maydoniga nisbatan nisbiy tezligidir.

Magnit induktsiya vektori oqimi.

Magnit maydon uchun Gauss teoremasi.

\vec{B} vektorninig dS sirt orqali oqimi yoki magnit oqim deganda:

$$d\Phi_B = \vec{B} \cdot d\vec{S} = B_n dS$$

ga teng bo'luvchi skalyar fizik miqdor tushuniladi. Bunda $B_n = B \cos \alpha$, $d\vec{S} = dS \cdot \vec{n}$ va $\alpha = \vec{n} \wedge \vec{B}$ \vec{B} ning sirt orqali musbat ($\cos \alpha > 0$) va manfiy ($\cos \alpha < 0$) qiymatlarga ega bo'lishi mumkin. Uning ishorasi o'ng vint qoidasi bilan aniqlanadi.

Istalgan S sirt orqali o'tuvchi F_V magnit induksiya vektor oqimi quyidagiga teng:

$$\phi_B = \int_S \vec{B} d\vec{S} = \int_S B_n dS$$

Bir jinsli maydon va \vec{B} vektorga perpendikulyar joylashuvchi yassi sirt uchun esa: $\phi_B = BS$

Magnit oqimining SI dagi birligi – *veber (Vb)*. 1 Vb - magnit induksiya 1 Tl bo'lgan bir jinsli magnit maydonda maydon yo'nalishiga $1m^2$ yuzli yassi sirtni kesib o'tadigan magnit oqimidir $[\Phi_B] = Tl \cdot m^2 = B\delta$ (veber).

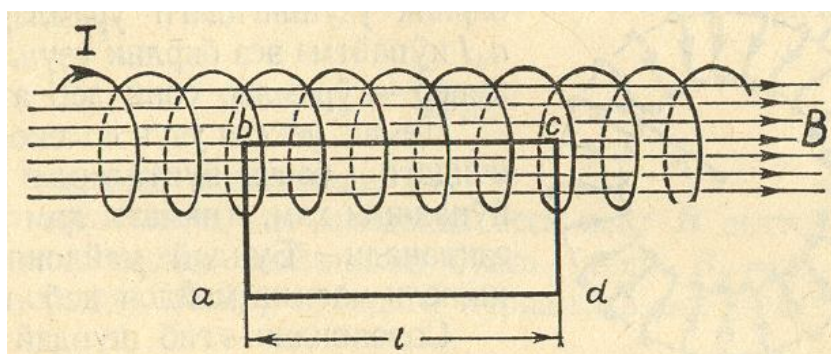
\vec{B} maydon uchun **Gauss teoremasi**: Istalgan berk sirt orqali o'tuvchi magnit induksiya vektori oqimi 0 ga teng:

$$\oint_S \vec{B} dS = \oint_S B_n dS = 0.$$

Mazkur teorema magnit induksiya chiziqlarining berk ekanligini, ya'ni berk sirt ichiga kirayotgan \vec{B} chiziqlarning soni sirdan chiqayotgan \vec{B} chiziqlarning soniga aynan tengligini ifodalaydi. Shuningdek undan magnit zaryadlari mavjud emasligi ham ma'lum bo'ladi.

\vec{B} vektor tsirkulsiyasi haqidagi teorema Bio-Savar-Laplas qonunidan foydalanmay turib, maydonning magnit induksiya qonunini topish imkonini beradi. Shunga asoslanib, solenoid va toroidning magnit maydonlarini aniqlaymiz.

Solenoid markazlari umumiy o'qda yotuvchi bir-biri bilan ketma-ket ulangan aylanma toklar yig'indisidir. Solenoid ichidagi magnit maydonning yo'nalishi o'ng vint qoidasiga binoan aniqlanadi. Bu holda u chapdan o'ng tomon yo'nalagan o'zaro parallel to'g'ri chiziqlar bo'ladi (12-rasm).



12-rasm

\vec{B} ning qiymatini magnit induksiya vektorining berk kontur bo'yicha tsirkulsiyasi formulasidan foydalanib aniqlaymiz:

$$\oint_{absd} B_e dl = \int_a^b B_2 dl + \int_b^c B_e dl + \int_c^d B_e dl + \int_d^a B_e dl = Bl = \mu_0 NI$$

Solenoid ichidagi magnit induksiya (vakuum uchun) quyidagiga teng bo'ladi:

$$B = \mu_0 NI / l$$

bundagi I -solenoiddan o'tagan tok kuchi. $absda$ kontur qamrab olgan toklarning algebraik yig'indisi nI ga teng. Berk konturning ab va cd qismlari \vec{B} chiziqlariga perpendikulyar bo'lgani uchun mazkur qismlarda

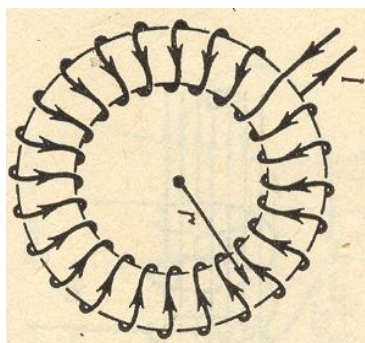
$$B_l = 0.$$

Konturning $asda$ qismi joylashgan sohada esa $\vec{B} = 0$ bo'lgani uchun $B_l = 0$.

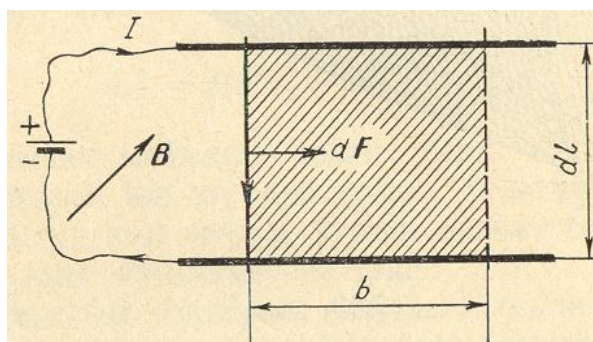
Integralni hisoblashda shu faktlar hisobga olinganini ta'kidlab o'tamiz.

Demak, cheksiz uzun solenoidning ichidagi barcha nuqtalarda V ning yo'nalishi ham, qiymati ham birday saqlanadi. Bunday maydonni **bir jinsli magnit maydon** deb ataladi.

Solenoidni egib shunday halqa shakliga keltiraylikki, barcha o'ramlar markazlari halqa markazidan bir xil r masofada joylashsin (13-rasm).



13-rasm



14-rasm

Natijada **toroid** deb ataladigan halqasimon g'altak vujudga keladi. Magnit maydon faqat toroid ichida mujassamlashadi. Uni solenoid uchun olingan formuladan

$$\text{foydalanib hisoblash mumkin: } B = \mu_0 NI / (2\pi r)$$

Toroid uzunligi ($l = 2\pi r$) halqaning o'rta chizig'i bo'yicha hisoblanadi, ya'ni uning ichki va tashqi aylanalari orasidagi farq e'tiborga olinmaydi.

Tokli o'tkazgichni va tokli konturni magnet maydonda ko'chirishda bajariladigan ish.

Agar I tok o'tayotgan, erkin ko'cha olish imkoniyatiga ega bo'lgan o'tkazgichning uzunligi dl bo'lib, u kontur tekisligiga perpendikulyar bir jinsli tashqi magnet maydonga joylashtirilgan bo'lsa, unga Amper qonuniga binoan quyidagi kuch ta'sir qiladi:

$$dF = IBdl$$

Bu kuchning yo'nalishi dl elementning ko'chish yo'nalishi bilan mos tushganligi uchun bajarilgan ish:

$$dA = dF \cdot b = IBdl \cdot b$$

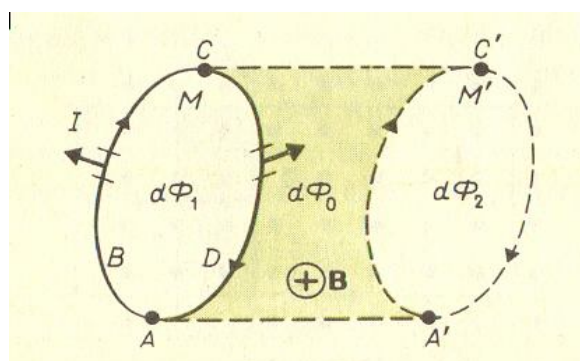
14-rasmdan ko'rinishicha dl elementning b masofaga ko'chishi tufayli konturning yuzi $dS = dl \cdot b$ ga ortadi. Shuning uchun:

$$dA = IBdl \cdot b = IBdS = Id\Phi$$

deb yozish mumkin.

Bunda $dF = BdS$ konturning qo'zg'aluvchi dl elementni ko'chishi davomida kesib o'tgan magnet oqimi:

Endi I doimiy tok o'tayotgan berk konturning magnet maydoniga ko'chirilganda bajariladigan ishni hisoblaymiz. Aytaylik, M kontur chizma tekisligida ko'chadi va cheksiz kichik ko'chish natijasida M' holatni egallaydi (15-rasm).



11-rasm

M konturni xayolan ABC va CDA o'tkazgichga ajratamiz. Ularning ko'chishida Amper kuchlari bajaradigan ish ABC (dA_1) va CDA (dA_2) quyidagi tenglikni qanoatlantiradi: $dA = dA_1 + dA_2$

Lekin $dA_2 = I(dF_0 + dF_2)$ va $dA_1 = I(dF_0 + dF_1)$ ekanligini e'tiborga olsak, unda:

$$dA = I(dF_2 - dF_1) = IdF.$$

Bu ifodani integrallab, magnit maydonida konturning istalgancha erkin ko'chishidagi Amper kuchlari tomonidan bajariladigan ishini aniqlaymiz:

$$A = I\Delta\Phi$$

Bu munosabat orqali ixtiyoriy shakldagi tokli berk konturning har qanday magnit maydondagi turli ko'chishlari hisoblash mumkin.

Mustaqil ta'limda o'rganish uchun material

Zaryadli zarrachaning magnit maydonidagi harakati. Tezlatgichlar.

Agar zaryadli zarracha bir jinsli magnit maydonida uning induksiya chiziqlari bo'ylab \vec{g} tezlik bilan harakatlansa, unda \vec{g} va \vec{B} vektorlar orasidagi burchak θ yoki π bo'ladi. Bu holda Lorents kuchi nolga teng, ya'ni magnit maydoni ta'sir qilmaydi, u tekis va to'g'ri chiziqli harakat qiladi.

Agar zaryadli zarracha \vec{B} vektorga perpendikulyar bo'lgan \vec{g} tezlik bilan harakatlansa, unda $\vec{F} = Q[\vec{g}\vec{B}]$ Lorents kuchining moduli doimiy va yo'nalishi esa troektoriyaga perpendikulyar tarzda bo'ladi. Nyutonning ikkinchi qonuniga ko'ra bu kuch markazga intilma tezlanish hosil qiladi. Bundan esa zarrachaning aylana bo'ylab harakat qilishi ayon bo'ladi. Uning r radiusini aniqlaymiz.

$$QgB = m\frac{g^2}{r} \quad \text{bunda} \quad r = \frac{m}{Q} \cdot \frac{g}{B}$$

Zarrachaning aylanish davri esa:

$$T = \frac{2\pi r}{g} \quad \text{yoki} \quad T = \frac{2\pi}{B} \cdot \frac{m}{Q}$$

bunda m -zarrachaning massasi, Q - uning zaryadi.

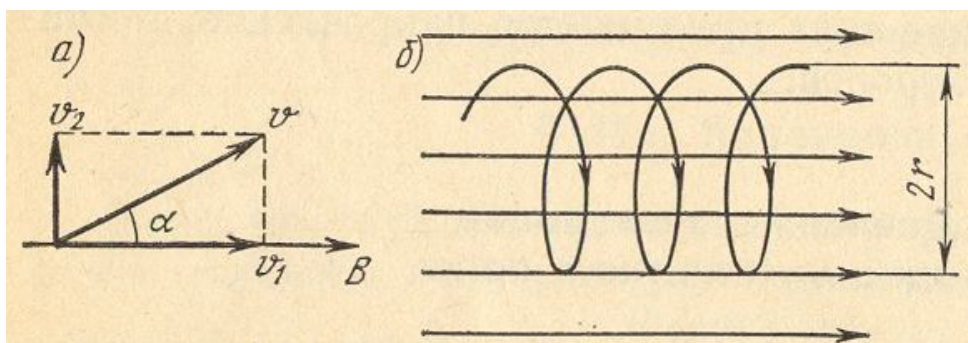
Zarrachaning aylanish davri uning solishtirma zaryadi Q/m va maydonning magnit induksiya bog'liq, zaryadning tezligiga va aylananing radiusiga esa mutlaqo bog'liq emas.

Zarracha tezligi magnit maydon yo'nalishi bilan ixtiyoriy α burchak tashkil etsin. Bu holda tezlik vektori $|\vec{g}|$ ni ikki tashkil etuvchiga \vec{B} bo'ylab yo'nalgan $g_{\parallel} = g \cos \alpha$ va \vec{B} ga perpendikulyar yo'nalgan $g_{\perp} = g \sin \alpha$ ga ajratish mumkin. Bunda zaryadli zarracha g_{\parallel} tufayli magnit induksiya chiziqlari bo'ylab to'g'ri chiziqli tekis xarakatda, g_{\perp} tufayli esa maydonga perpendikulyar tekislikda aylana bo'ylab tekis harakatda qatnashadi. Bu ikki harakatning superpozitsiyasi zarrachaning natijaviy xarakatini xarakterlaydi: Zarracha o'qi magnit maydonga parallel bo'lgan vintsimon spiral chiziq bo'yicha harakatlanadi (1-rasm). Vintning r radiusi va h qadamini hisoblash mumkin:

$$r = \frac{m g_{\perp}}{BQ}$$

bunda Q -zarrachaning zaryadi. $g_{\perp} = g \sin \alpha$ bo'shlgani uchun:

$$r = \frac{m g \sin \alpha}{BQ}$$



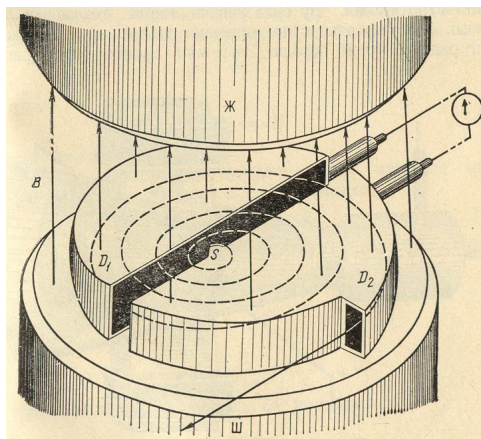
1-rasm

Zarrachaning bir marta to'liq aylanib chiqishi uchun ketgan vaqt, ya'ni T davr ichida u magnit chiziqlari bo'ylab h masofaga siljiydi: $h = g_{\parallel} T$ yoki

$$h = g_{\parallel} \frac{2\pi m}{Q \cdot B} = g \cos \alpha \frac{2\pi m}{QB}$$

Bu ifoda vintning qadamini belgilaydi.

Elektr va magnit maydonlari ta'siri ostida yuqori energiyali zaryadli zarracha (elektron, proton, mezon va x.k) lar hosil qilish va ularni boshqarishga imkon beruvchi qurilmani **zaryadli zarrachalarning tezlatgichlari** deyiladi. Istalgan tezlatgichni tezlatayotgan zarrachalarning turli, ularga beriladigan energiya va intensivlik bo'yicha zarrachalarning taqsimotiga bog'liq holda harakatlanadi.



2-rasm

Harakatlanayotgan zarralarga magnit maydon ko'rsatadigan ta'sirdan tsiklik tezlatgichlar (tsiklotron, sinxrotron, sinxofozotron betatron), magnitogidrodinamik generatorlarda foydalaniladi. Siklotronning asosiy qismi kuchli elektromagnitdir (2-rasm). Bu elektromagnitning qutblari orasida yassi tsilindrlik vakuum kamera joylashgan. Kamera duant deb ataladigan D -simon ikki bo'lak D_1 va D_2 dan iborat. Duantlar elektrodlar vazifasini ham o'taydi. Ular o'zgaruvchan kuchlanishli yuqori chastotaviy generatorning qutblariga ulangan. Shuning uchun duantlar navbatma navbat goh musbat, goh manfiy zaryadlanib turadi.

Elektr maydon faqat duantlar oralig'idagi tirqishdagina mavjud bo'ladi. Tezlatilishi lozim bo'lgan zaryadli zarrachalar kamera \vec{S} -maxsus qurilma orqali kiritiladi.

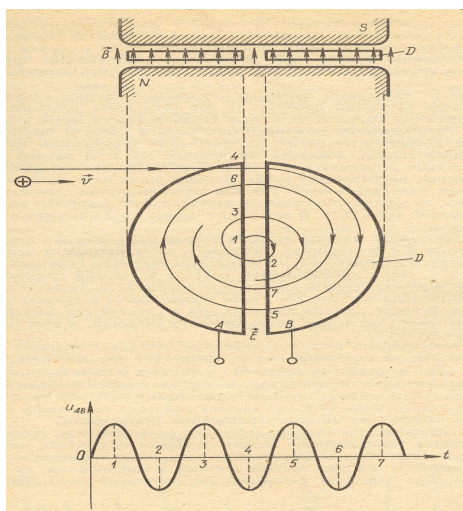
Kamera kiritilgan musbat zaryadli zarrachalardan birining harakatini kuzataylik. Zarracha darhol manfiy zaryadlangan duant tomon tortiladi. Duant ichida zarrachaning harakati yo'nalishiga perpendikulyar bo'lgan magnit maydon uni aylana bo'ylab harakatlanishga majbur qiladi.

Zarracha yarim aylanani bosib o'tib, yana duantlar oralig'idagi tirqishga etib keladi. Lekin o'tgan vaqt ichida elektr maydon yo'nalishini o'zgartirgan bo'ladi. Shuning uchun zarracha ikkinchi duant tomon tortilib tezlashadi. Ikkinchi duant ichida yarim aylanani bosib o'tadi va yana tirqishga etib keladi.

Bu erda uchinchi marta tezlashadi va x.k. har safardan so'ng zarrachaning tezligi va orbitasining radiusi ortib boradi. Zarrachaning traektoriyasi spralsimon shaklda yoyilib boradi va nihoyat u kamera devoriga yaqinlashadi.

Bu erda maxsus qurilma orqali zarrachalar tashqariga chiqariladi. Duantlar orasidagi kuchlanish sodir bo'layotgan jarayonlar bilan davriy bog'liq ravishda o'zgaradi (3-rasm).

Har qanday tezlatgichlar tezlashtirilayotgan zarraning turiga, energiyasiga, zaryad oqimining intensivligiga va zarralarning (razbros) sochilishiga qarab harakatlanadi.



Ular uzluksiz va impul's turga bo'linadilar. Yana ular zarralarning tezlashtirish mexanizmi va harakat traektoriyasiga qarab chiziqli, siklik va induksion tezlatgichlarga bo'linadi.

1. Chiziqli tezlatgichlarga elektrostatik maydon yordamida tezlashtiradigan turi kiradi. Bunda zarra maydondan bir marta o'tadi:

M: Van – de – Graaf generatori. Energiyasi ~ 10 MeV ga etishi mumkin. Bundan ortiq energiya olishiga zaryadlarning teshib chiqishi yoki oqib ketishi to'sqinlik qiladi.

2. Chiziqli rezonansli tezlatgichlar. Bu o'ta yuqori chastotali o'zgaruvchan elektr maydoni ta'sirida amalga oshiriladi, bunda maydon zaryadlarning harakatiga mos ravishda sinxron o'zgaradi. Elektronlarni bir necha 10 Giga eV, protonlarni esa bir necha 10 MeV gacha tezlashtira oladi.

3. Fazotron – (sinxrotsiklotron) – tsiklik rezonansli tezlatgich bo'lib og'ir zaryadli zarralarni (proton, ion, α) zarralarni tezlashtiradi. Bunda boshqaruvchi magnit maydoni doimiy bo'lib, elektr maydoni chastotasi davrga qarab sekin o'zgarib

boradi. Zaryadlar 1 GeV gacha energiya olishi mumkin, undan ortiqchasiga tezlik oshishi bilan radius oshishi xalaqit beradi.

4. Sinxrotron – tsiklik rezonansli tezlatgich bo'lib, bunda boshqaruvchi magnit maydoni o'zgaruvchi bo'lib, tezlashtiruvchi elektr maydon chastotasi doimiy qoladi. Elektronlar 5 – 10 GeV gacha tezlasha oladi.

5. Sinxrofazotron – bu og'ir zaryadlarni tezlatgichi bo'lib, siklik rezonansli tezlatgichdir. Bu erda magnit maydoni va elektr maydoni bir vaqtda vaqt bo'yicha o'zgarib, tezlashayotgan zaryad chastotasining radiusiga moslab boriladi. Protonlarni 500 GeV gacha tezlashtira oladi.

6. Betatron – elektronlarni tsiklik induktsiyali tezlatgich bo'lib, tezlatish aylanma (vixer) elektr maydonida amalga oshiriladi, bu erda elektroni orbitada o'zgaruvchan magnit maydoni ushlab turadi. Elektron 100 MeV gacha energiya olish mumkin.

7. Magnitogidrodinamik (MGD) generatori. Harakatlanayotgan zarrachalarga magnit maydon ko'rsatayotgan ta'sirdan magnitogidrodinamik generatoridan foydalaniladi. Uning tuzilishi yonish kamerasida yuksak ionlashgan gaz plazma elektrodlar (E_1 va E_2) orasida harakatlanib magnit maydonining ta'siriga uchraydi va o'z yo'nalishini o'zgartiradi. Musbat ionlar E_1 elektrodga, manfiy ionlar E_2 elektrodga urilib ularni mos ravishda zaryadlanishiga sabab bo'ladi. Elektrodga tashqi yuklanma ulansa, zanjir bo'ylab tok oqa boshlaydi.

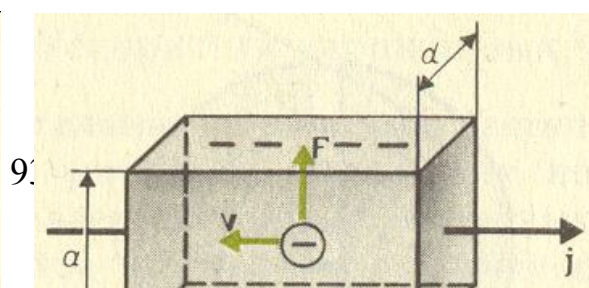
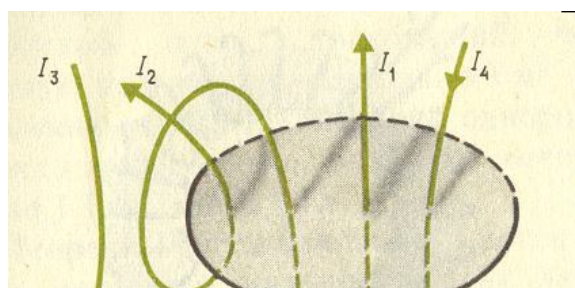
Vakuumda, magnit maydon uchun induktsiya vektorining tsirkulyatsiyasi.

Xoll effekti.

Berilgan berk kontur bo'yicha \vec{B} vektorining tsirkulyatsiyasi quyidagicha ifodalanadi:

$$\oint_L \vec{B} d\vec{l} = \oint_L B_l dl$$

bunda dl -konturning elementar uzunlik vektori bo'lib, u konturni qamrab oluvchi holda yo'naladi. $B_l = B \cos \alpha$, α - esa \vec{B} va $d\vec{l}$ vektorlar orsidagi burchak.



4-rasm

5-rasm

Vakuumdagi magnit maydon uchun to'liq tok qonuni (\vec{B} vektorining tsirkulyatsiyasi haqidagi teorema): istalgan berk kontur bo'yicha \vec{B} vektorining tsirkulyatsiyasi μ_0 magnit doimiysi bilan shu konturni o'rab turuvchi toklarning algebraik yig'indisi orasidagi ko'paytmaga teng bo'ladi:

$$\oint_L \vec{B} d\vec{l} = \oint_L B_l dl = \mu_0 \sum_{k=1}^n I_k$$

Bunda n - istalgan L kontur o'rab oladigan tokli o'tkazgichlar soni. 4-rasmdagi hol uchun

$$\sum_{k=1}^n I_k = I_1 + 2I_2 - 0 \cdot I_3 - I_4.$$

Yuqorida keltirilgan formula faqat vakuumdagi maydon uchungina o'rinli, muhitda esa molekulyar toklarni ham e'tiborga olish lozim.

Elektrostatik maydon \vec{E} vektorining tsirkulyatsiyasi doimo nolga teng, ya'ni u potentsial maydon bo'ladi. Magnit maydon \vec{B} vektorining tsirkulyatsiyasi esa nolga teng emas. Uni **uyurmali maydon** deyiladi.

\vec{B} magnit maydonidagi, \vec{j} tok zichligiga ega bo'lgan metall (yoki yarimo'tkazgich) da \vec{B} va \vec{j} vektorlariga perpendikulyar yo'nalishda elektr maydonining hosil bo'lish hodisasiga **Xoll effekti** deyiladi. Lorents kuchi ta'siri ostida tok hosil qilayotgan elektronlar o'tkazgichning (plastinka) ning yuqori sirtida to'planib manfiy zaryad, pastki sirtida elektronlar etmagani uchun esa musbat zaryad vujudga keladi. Natijada plastinka sirlari orasida pastdan yuqoriga tomon yo'nalgan qo'shimcha elektr maydoni hosil bo'ladi. Bu maydondagi zaryadga ta'sir etuvchi kuch Lorents kuchiga tenglashgach muvozanat vaziyati yaratiladi:

$$eE_B = \frac{e\Delta\varphi}{a} = e\mathcal{E}B \quad S \text{ yoki } \Delta\varphi = \mathcal{E}Ba$$

bunda a -plastinka kengligi, $\Delta\varphi$ - Xoll potentsiallar farqi. $I = jS = ne \langle \mathcal{E} \rangle S$ ekanligini e'tiborga olib, quyidagini hosil qilamiz:

$\Delta\varphi = \frac{I}{nead} Ba = \frac{1}{ne} \cdot \frac{IB}{d} = R \cdot \frac{IB}{d}$ bunda $R = \frac{1}{en}$ - Xoll doimiysi bo'lib, uning qiymati moddaga bog'liq S - d qalinlikli plastinkaning ko'ndalang kesim yuzasi, n -elektronlar konsentratsiyasi (5-rasm). O'lchangan Xoll effektidan foydalanib quyidagilarni bilish mumkin:

- O'tkazgichdagi tok tashuvchilar konsentratsiyasini;
- Yarimo'tkazgichlardagi o'tkazuvchanlik tabiatini bilib olish mumkin;

Sinov 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? \vec{B} vektorning 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 kvivalent bo'ladi?
7. Protonning magnit maydondagi harakatida Lorents kuchi bajaradigan ish nimaga teng?
8. \vec{B} magnit induktsiya vektorining tsirkulsiyasi nimadan iborat?
9. \vec{E} va \vec{B} vektorlar tsirkulsiyasini taqqoslab qanday xulosa chiqarish mumkin?
10. Magnit maydon uchun Gauss teoremasini yozing va uning fizik mohiyatini tushuntiring?

8-Ma'ruza rejasi

- Kirish
- Elektromagnit induktsiyasi hodisasi. Faradeyning qonuni
- Magnit maydonida aylanuvchi ramka.
- Konturning induktivligi. O'zinduksiya
- Ulash va uzish ekstratoklari
- O'zaro induktsiya.
- Magnit maydon energiyasi

Mustaqil ta'lim

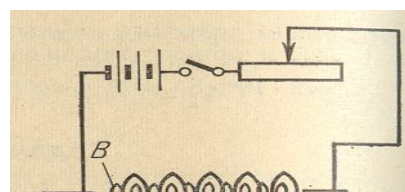
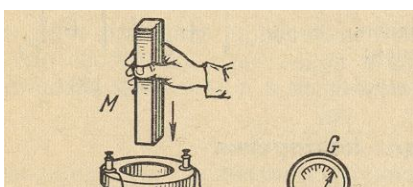
- Uyurmali toklar (Fuko toklari)
- Transformatorlar

Elektromagnit induktsiyasi hodisasi. Faradeyning qonuni

Ersted, elektr toki o'zini o'rab turuvchi fazoda magnit maydoni hosil qilishini aniqlagach, tadqiqotchilarda «magnit yordamida tok olish mumkinmi?» degan tabiiy savol paydo bo'ldi. Bu muhim muammoni 1831 yilda ingliz fizigi M.Faradey hal qilgan. U **elektromagnit induktsiya hodisasi** deb yuritiladi. Uning mohiyati quyidagicha:

Berk kontur bilan chegaralangan yuzadan o'tayotgan magnit oqimi o'zgarsa, shu konturda **induksion tok** hosil bo'ladi. Quyidagi ikkita tajriba yordamida uning isbotini ko'rish mumkin.

Agar doimiy magnitni gal'vanometr bilan ulangan solenoid ichiga kiritsak va yoki undan chiqarsak gal'vanometrda tok hosil bo'lganini kuzatamiz. Ikkala holdagi toklarning yo'nalishi o'zaro teskari bo'ladi. Bunda magnitning g'altakka nisbatan tezligi qancha katta bo'lsa, gal'vanometr strelkasining og'ishi ham shuncha katta bo'ladi. Magnit qutblari o'zgartirilsa, faqat gal'vanometr strelkasining og'ish yo'nalishi o'zgaradi, xolos (1-rasm). Shuningdek, magnitni qo'zg'almas holda qoldirib, g'altakni harakatlantirsak ham yuqoridagi effektning aynan o'zi takrorlanadi.



a

b

1-rasm

Bir-birining ichiga joylasha oladigan ikkita g'altak olib, ulardan birining ikki uchini gal'vanometrغا ulasak va ikkinchi g'altakdan esa tok o'tkazsak unga tokni ulash va uzish paytlarida gal'vanometr strelkasining og'ishi kuzatiladi (1b-rasm). Shuningdek g'altakdagi tokning ortishi, kamayishi va yoki g'altaklarning bir-biriga nisbatan harakati paytida ham induksion tok hosil bo'ladi. Bunda tokni ulash va uzish, uning o'sishi va kamayishi hamda g'altaklarning yaqinlashish va uzoqlashish paytlaridagi induksion tokning yo'nalishi o'zaro teskari bo'lishini ta'kidlab o'tamiz.

Ko'p sonli tajribalar, induksion tokning magnit maydon induksiya oqimining qaysi usulda o'zgarganiga mutlaqo bog'liq bo'lmasligini ko'rsatadi.

Elektromagnit induksiya hodisasi tufayli elektr va magnit hodisalari orasidagi bog'lanish tiklandi. Natijada yagona elektromagnit maydon nazariyasi yaratildi.

Elektromagnit induksiya hodisasi fundamental mohiyatga ega bo'lib, uning asosiy mohiyati Faradey qonuni bilan ifodalanadi:

Qanday sabab bilan sodir bo'lishidan qat'iy nazar, berk kontur bilan chegaralangan yuza orqali o'tuvchi magnit oqimining har qanday o'zgarishi natijasida konturda induksion EYUK (va demakki induksion tok) hosil bo'ladi.

Uning miqdori faqat shu sirdan sizib o'tayotgan magnit oqimining o'zgarish tezligi bilangina aniqlanadi:

$$\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt}$$

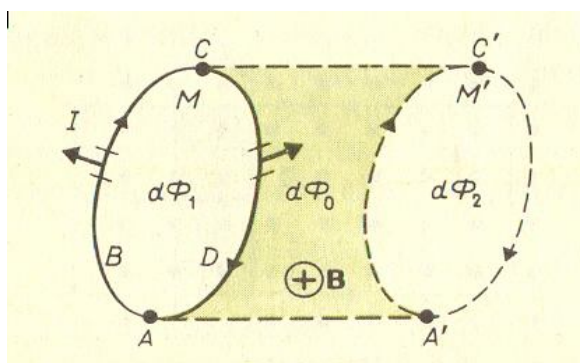
$$\frac{d\Phi}{dt} > 0 \text{ da } \varepsilon_i < 0, \frac{d\Phi}{dt} < 0, \text{ bulganda esa } \varepsilon_i > 0 \text{ bulishi kursoratadi}$$

Bu Holdagi minus ishorasi, 1833 yilda E.X.Lents tomonidan aniqlangan, induksion tokning yo'nalishini oydinlashtirish umumiy qoidasining matematikaviy ifodasi bo'ylab xizmat qiladi. Konturda hosil bo'luvchi tok shunday yo'naladiki,

uning magnit maydoni shu induksion tokni hosil qiluvchi maydon o'zgarishini qoplash (kompensatsiyalash)ga intiladi.

Faradey qonunini energiyaning saqlanish qonunidan bevosita keltirib chiqarish ham mumkin

Bir jinsli magnit maydoniga joylashtirilgan I tokli o'tkazgichni dx masofaga siljitishda Amper kuchi A miqdorda ish bajaradi (2-rasm). $A=IdF$



2-rasm

Agar konturning to'la qarshiligi R bo'lsa, bajarilgan ish ajralib chiqadigan issiqlik miqdori va o'tkazgichni magnit maydon bo'ylab ko'chirishda bajaradigan ishning yig'indisidan tashkil topadi:

$$\varepsilon I dt = I^2 R dt + Id\Phi$$

$$I = \left(\varepsilon - \frac{d\Phi}{dt} \right) / R$$

bunda $-\frac{d\Phi}{dt} = \varepsilon_i$ – induksion EYUK bo'lib, u Faradey qonuni hisoblanadi. Induksion

EYUK ning o'lchov birligini aniqlaymiz:

$$\left[\frac{d\Phi}{dt} \right] = \frac{B\delta}{c} = \frac{T_l \cdot M^2}{c} = \frac{H \cdot M^2}{A \cdot m c} = \frac{J}{A \cdot c} = \frac{A \cdot Bc}{A \cdot c} = B$$

Magnit maydonda aylanuvchi ramka

Generatorlarda mexanik energiya elektromagnit induksiya hodisasidan foydalanish orqali elektr energiyasiga aylantiriladi. Uning ishlash printsipini bir jinsli magnit maydonida aylanayotgan yassi ramka misolida ko'rishimiz mumkin.

Mazkur ramka bir jinsli magnit maydoni ($B = const$) da $w = const$ burchak tezlik bilan bir tekis aylanayotgan bo'lsin. Istalgan t vaqtda S yuzali ramka ilashtirib oluvchi magnit oqimi quyidagicha bo'ladi:

$$\Phi = B_n S = BS \cos \alpha = BS \cos \varpi t$$

bunda $\alpha = \varpi t$ - ramkaning t vaqt momentidagi burilish burchagi.

$$\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt} = BS\varpi \sin \varpi t$$

Agar $-1 \leq \sin \varpi t \leq 1$ ekanligini e'tiborga olib:

$$\varepsilon_{i \max} = BS\varpi \quad \text{yoki} \quad \varepsilon_i = \varepsilon_{\max} \sin \varpi t$$

Shunday qilib, agar bir jinsli magnit maydonida ramka tekis aylansa, unda garmonik qonun bilan o'zgaruvchi induksion EYUK hosil bo'lar ekan.

Oxirgi formuladan ε_i ning qiymati ϖ, B va S kattaliklarga bog'liq bo'lishi ma'lum bo'ladi. O'zbekiston Respublikasida tokning standart chastotasi $\nu = \varpi / (2\pi) = 50 \text{ Гц}$ qabul qilinganligi uchun faqat oxirgi ikki kattaliklarni oshirish mumkin. V ni oshirish uchun kuchli doimiy magnitlar ishlatiladi yoki elektromagnitlardan ancha katta tok o'tkaziladi. Shuningdek, ba'zan elektromagnit o'zagini katta magnit singdiruvchanli materialdan tayyorlanadi. Agar bir emas, balki o'zaro ketma-ket ulangan bir necha o'ramdan iborat ramka aylansa, unda S oshadi.

Mexanik energiyaning elektr energiyasiga aylanishi qaytar jarayondir. Agar magnit maydoniga joylashgan ramkadan tok o'tkazsak, unga aylantiruvchi moment ta'sir qilib ramka aylana boshlaydi.

Elektrodvigatellar shu printsipda ishlab elektr energiyasini mexanik energiyaga aylantirib beradi.

Konturning induktivligi. O'zinduksiya

Berk konturdan o'tayotgan elektr toki o'zining atrofida magnit maydoni hosil qiladi. Bu maydonning induksiyasi Bio-Savar-Laplas qonuniga binoan konturdagi tokka proporsional bo'ladi. Shu sababli, kontur qamrab oladigan magnit oqimi tokka proporsional bo'ladi:

$$F \sim V \sim I$$

yoki
$$F = LI$$

Bunda proporsionallik koeffitsienti L **konturning induktivligi** deb ataladi.

Konturdagi tokning o'zgarishi tufayli shu konturda induksion EYUK ning hosil bo'lishi hodisasiga **o'zinduksiya** deb aytiladi.

$$[L] = \Gamma_H = B\delta / A = B \cdot c / A$$

CHeksiz uzun solenoidning induktivligi quyidagi formula bilan aniqlanadi:

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

Umumiy holda, konturning induktivligi faqat uning geometrik shakli va o'lchamlari hamda o'zi joylashgan muhitning magnit kirituvchanligiga bog'liq bo'ladi. Agar L -const bo'lsa:

$$\varepsilon_s = -L \frac{dI}{dt}$$

bunda minus ishorasi Lents qoidasidan kelib chiqib, konturning induktivligi undagi tok o'zgarishini sekinlatishga olib kelishini bildiradi.

$$\frac{dI}{dt} > 0 \quad \text{булса} \quad \varepsilon_s < 0$$

$$\frac{dI}{dt} < 0 \quad \text{булса} \quad \varepsilon_s > 0 \quad \text{булади.}$$

Ulash va uzish ekstratoklari

Konturdagi tokning har qanday o'zgarishida o'zinduksiya EYUK hosil bo'ladi. Natijada **ekstra toklar** deb ataluvchi qo'shimcha tok hosil bo'ladi.

EYUK ε ga teng bo'lgan elektr manbaiga ega bo'lgan va R qarshilikli rezistor hamda L induktivli g'altakdan tashkil topuvchi zanjirdagi tokning uzilishi jarayonini kuzatamiz:

$$I_0 = \varepsilon / R$$

$t = 0$ пайтда ток манбаи узилди

$$\varepsilon_s = -L \frac{dI}{dt}$$

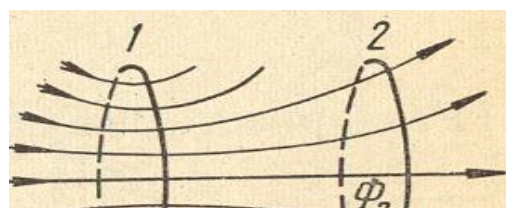
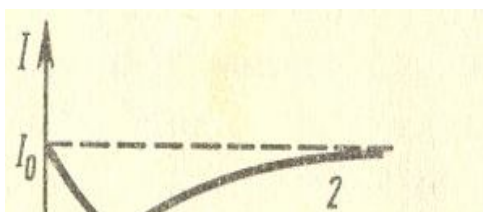
Vaqtning har bir lahzasidagi tok Om qonuni bilan aniqlandi

$$I = \varepsilon_s / R \quad IR = \varepsilon$$

$$IR = -L \frac{dI}{dt}$$

$$\frac{dI}{I} = -\frac{R}{L} dt \quad \text{ёки} \quad \ln(I/I_0) = -Rt/L \quad I = I_0 \bar{e}^{-t/\tau}$$

bunda $\tau = L/R$ – doimiyini **relaksatsiya vaqti** deb yuritiladi. τ - tok kuchi e marta o'zgarishi uchun sarflanadigan vaqtni bildiradi.



3-rasm

4-rasm

Zanjir ulanganda esa tashqi EYUK dan tashqari o'zinduksiya EYUK ham

hosil bo'ladi:
$$\varepsilon_s = -L \frac{dI}{dt}$$

Om qonuniga binoan:

$$IR = \varepsilon - L \frac{dI}{dt}$$

yoki
$$I = I_0 (1 - e^{-t/\tau})$$

bunda $I_0 = \varepsilon/R$ - hosil bo'luvchi doimiy tok $t \rightarrow \infty$ da erishiladi.

Agar doimiy tokning qarshiligi R_0 dan R gacha o'zgarsa

$$I = \frac{\varepsilon}{R_0} e^{-Rt/L} \qquad \varepsilon_s = \frac{R}{R_0} \varepsilon e^{-Rt/L}$$

O'zaro induksiya

O'zinduksiya va o'zaro induksiya hodisalari elektromagnit induksiyaning xususiy hollaridir.

Konturda unga qo'shni bo'lgan boshqa konturdagi tokning o'zgarishi tufayli tok hosil bo'lish hodisasiga **o'zaro induksiya** deb aytiladi.

$$\begin{aligned} \Phi_{21} &= -L_{21} I_1 \\ E_{12} &= -\frac{d\Phi_{21}}{dt} = -L_{21} \frac{dI_1}{dt} \\ E_{21} &= -\frac{d\Phi_{12}}{dt} = -L_{12} \frac{dI_2}{dt} \end{aligned}$$

bunda L_{21} va L_{12} proporsionallik koeffitsientlari bo'lib, uni **konturlarning o'zaro induktivligi** deyiladi.

Ular o'zaro teng bo'lib, konturlarning shakli, o'lchamlari va o'zaro joylashganligiga hamda qanday muhitda ekanligiga bog'liq bo'ladi. $[L] = \Gamma_H$.

Magnit maydon energiyasi

Magnit maydoni elektr maydonga o'xshab energiya tashiydi.

Ma'lumki:

$$F = LI \text{ yoki } dF = LdI$$

lekin magnit maydonini dF miqdorga o'zgartirish uchun dA ish bajarilishi kerak:

$$dA = Id\Phi = L IdI$$

Shunda F magnit oqimi hosil qilish uchun bajariladigan ish:

$$A = \int_0^I LI dI = L I^2 / 2$$

Korturning magnit energiyasi

$$W = L I^2 / 2$$

Magnit maydon energiyasi fazoda mujassamlashgan bo'ladi.

Uzun solenoid ichidagi bir jinsli magnit maydon energiyasi:

$$W = \frac{1}{2} \mu_0 \mu \frac{N^2 SI^2}{l} \quad \text{ëku} \quad W = \frac{1}{2} \cdot \frac{B^2}{\mu_0 \mu} V = \frac{BH}{2} V$$

magnit maydon energiyasining hajmiy zichligi:

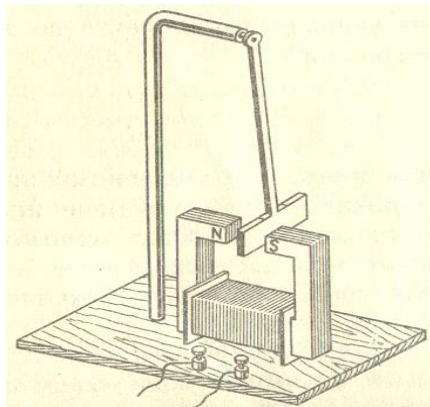
$$W = \frac{W}{V} = \frac{B^2}{2\mu_0 \mu} = \frac{\mu_0 \mu H^2}{2} = \frac{BH}{2}.$$

Mustaqil ta'limda o'rganish uchun material

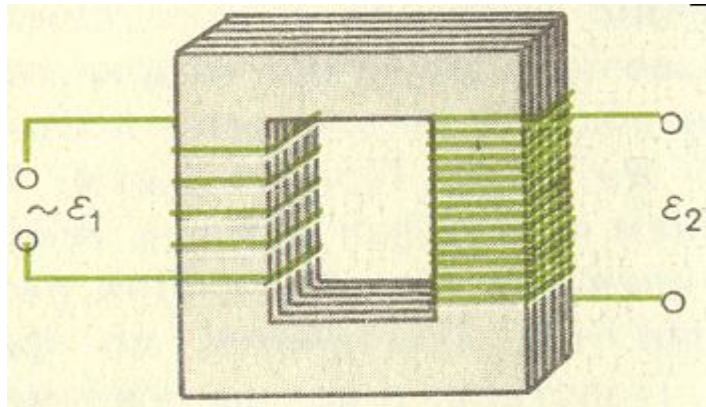
Uyurmali toklar (Fuko toklari)

O'zgaruvchan magnit maydoniga joylashtirilgan, ko'ndalang kesim yuzasi ancha qalin bo'lgan o'tkagichlarda hosil bo'luvchi induksion toklarni **uyurmali tok deb aytiladi**. YAxlit, qalin mis mayatnik elektromagnit qutblari orasida deyarli so'nmaydigan tebranma harakat qiladi, lekin elektromagnit tokka ulansa, mayatnik tezda harakatdan to'xtaydi (1-rasm). Bu uyurmali toklarning tormozlash xususiyatiga ega ekanligidan dalolat beradi. Uyurmali tok o'tkazgichlarning qizishiga ham sababchi bo'ladi. Shuning uchun issiqlikka sarflanadigan energiyani kamaytirish

maqsadida generatorlarning yuqori va yoki transformatorlarning o'zagi yaxlit emas, balki alohida-alohida plastinkalar shaklida tayyorlanib ular bir-biridan izolyator qatlami bilan ajratiladi.



1-rasm



2- rasm

Fuko toklari tufayli ajraladigan Joule-Lents issiqlik induksion pechkalarda ishlatiladi. Induksion pechka yuqori chastotali tok o'tayotgan g'altak ichiga joylashtirilgan metall idish (tigel') dan iborat.

Metallda uni erish temperaturasigacha qizdiruvchi intensiv uyurmali toklar paydo bo'ladi. Bu usul metallarni vakuumda eritish imkonini beradi va natijada o'ta toza material (modda)lar olinadi.

Transformator

O'zgaruvchan tokning kuchlanishini oshirish yoki kamaytirish uchun qo'llaniladigan transformatorlarning ishlash printsipti o'zaro induksiya hodisasiga asoslangan (2-rasm).

Mos holda N_1 va N_2 o'ramlarga ega bo'lgan birlamchi va ikkilamchi g'altaklar berk temir o'zakka mahkamlangan. Birinchi g'altakning uchi EYUK \mathcal{E} bo'lgan o'zgaruvchan kuchlanishli manbaga ulangan. Unda hosil bo'luvchi I_1 o'zgaruvchan tok transformatorning temir o'zagida, F o'zgaruvchan magnit oqimi paydo bo'lishiga olib keladi. Bu oqimning o'zgarishi natijasida ikkilamchi g'altakda o'zaro induksiya EYUK, birinчисida esa o'zinduksiya EYUK hosil bo'ladi.

Birlamchi g'altakdagi I_1 tok kuchi Om qonuniga binoan aniqlanadi:

$$\mathcal{E}_1 = \frac{d}{dt}(N_1\Phi) = I_1 R$$

lekin $I_1 R \sim 0$ bo'lgani uchun

$$\varepsilon_1 \approx N_1 \frac{d\Phi}{dt}$$

Ikkilamchi g'altakda esa:

$$\varepsilon_2 = -\frac{d(N_2\Phi)}{dt} = -N_2 \frac{d\Phi}{dt}$$

Ikkala ifodani solishtirib, quyidagini aniqlaymiz:

$$\varepsilon_2 = -\frac{N_2}{N_1} \cdot E_1$$

Bunda minus ishora birlamchi va ikkilamchi g'altakdagi EYUK lar teskari fazoda bo'lishini bildiradi. N_2/N_1 nisbat transformatorning ikkala o'ramlaridagi quvvat amalda o'zaro teng bo'ladi:

$$\varepsilon_2 I_2 \approx \varepsilon_1 I_1$$

bundan esa:

$$\varepsilon_2 / \varepsilon_1 = I_1 I_2 = N_2 N_1,$$

ya'ni o'ramdagi toklar, shu o'ramlar soniga teskari proportsionalligi ma'lum bo'ladi.

Agar $N_2/N_1 = k > 1$ bo'lsa transformator kuchaytiruvchi o'zgaruvchan EYUK ni oshiradi, tokni esa kamaytiradi (bundan elektr energiyasini uzoq masofalarga uzatishda foydalaniladi). Agar $k < 1$ bo'lsa, transformator (pasaytiruvchi) EYUK ni pasaytirib, tokni oshiradi (elektr payvandlashda qo'llaniladi, chunki past kuchlanishda katta tok talab qilinadi). Zamonaviy transformatorlarda *FIK* 98% ga etadi.

Sinov savollari.

1. Elektromagnit induksiya hodisasining mohiyati nimadan iborat? Faradey tajribalarini tahlil qilib bering?
2. Lents qoidasini ta'riflang va misollar bilan to'ldiring?
3. Magnit maydonida aylanuvchi ramkada sodir bo'ladigan jarayonni tahlil qiling.
4. O'zinduksiya hodisasining mohiyati nimadan iborat? Bunda induksiya EYUK nimaga teng bo'ladi.
5. O'zaro induksiya hodisasini tushuntiring? Bu holdagi induksiya EYUK ni hisoblang?

6. Relaksatsiya vaqti $\tau = \frac{L}{R}$ qanday fizik ma'no kasb etadi? Uning vaqt o'lchamiga ega ekanligini isbotlang?
7. Kuchaytiruvchi transformatorlarning birlamchi va ikkilamchi o'ramlaridagi toklarning nisbatini aniqlang?
8. Qachon o'zinduksiya EYUK katta bo'ladi? O'zgarmas tok zanjirini ulagandami? yoki uzgandami?
9. Kontur induktivligining fizik ma'nosi nimadan iborat? U nimaga bog'liq?
10. Elektromagnit maydon energiya zichligi nimaga teng?

9-Ma'ruza rejasi

- Kirish.
- Elektron va atomning magnit momentlari.
- Magnitlanganlik. Moddadagi magnit maydon.
- Diamagnetizm va paramagnetizm.
- Ferromagnetiklar va ularning xossalari
- Magnit gisterezisi. Kyuri nuqtasi

Mustaqil ta'lim

- Ferromagnetizmning tabiati
- Ferritlar

Elektron va atomning magnit momentlari.

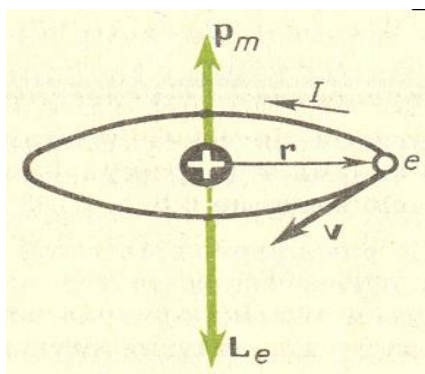
Tajribalar va nazariyaning ko'rsatishiga, magnit maydonga joylashtirilgan barcha moddalar magnit xossalari ega bo'lib qolishadi, ya'ni magnitlanadi. Amper gipotezasidan foydalanib, bu hodisaning sababini o'rganib chiqamiz. Ma'lumki, moddalar atom va molekulalardan tashkil topadi. Klassik nazariyaga ko'ra atom musbat zaryadlangan yadro va uning atrofida berk orbitalar bo'ylab 10^{15} *ayl/c* chastotali burchak tezlik bilan harakat qiluvchi elektronlardan tashkil topgan tizimdir.

Elektronning orbital harakatini doiraviy tokka o'xshatish mumkin. Shu sababdan u **orbital magnit momentiga** ega bo'ladi:

$$P_m = IS = e\nu S = e \cdot \frac{\omega}{2\pi} \cdot \pi r^2 = \frac{e\omega r^2}{2} \quad (1)$$

bunda $I = e\nu$ -tok kuchi bo'lib, u elektron harakatiga teskari yo'nalishda o'tadi. ν -elektronning r -radiusli orbitadagi chastotasi, S -esa orbita yuzasi. r -radiusli orbita bo'ylab ϑ -tezlik bilan harakat qilayotgan m - massali elektron qiymati:

$L_e = m\vartheta r = m\omega r^2$ ga teng bo'lgan **orbital mexanik momentga** ham ega bo'ladi.



1-rasm

\vec{P}_m va \vec{L}_e yo'nalishlari o'zaro teskari ekanligi 1-rasmdan ko'rinib turibdi.

Bu ikki vektor orasida quyidagicha bog'lanish mavjud:

$\vec{P}_m = -\frac{e}{2m} L_e = gL_e$ bunda $-\frac{e}{2m} = g$ **elektronning orbital giromagnit nisbati** deyiladi.

Garchi r va ϑ ning qiymati turli orbitalar uchun turlicha bo'lsada, lekin g - hamma eliptik va barcha orbitalar uchun ham doimiy miqdor hisoblanadi. Olimlar D.YU.Ulenbek va G.Gaudslit elektron, orbital mexanik va magnit momentlari bilan bir qatorda **xususiy mexanik momenti-spin** L_{es} ga ham ega, degan fikrni ilgari surishdi. Chunki A.Eyn'shteyn va de-Xaaza o'tkazgan tajribalarda olingan magnitomexanik nisbat (3)-formuladagiga qaraganda 2 marta katta ekanligi ma'lum bo'ldi.

Elektron spinining absolyut qiymati quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$L_{es} = \frac{\sqrt{3}}{2} \hbar \quad \text{bunda} \quad \hbar = h/(2\pi) = 1,05 \cdot 10^{-34} \text{ Ж} \cdot \text{c}$$

h -Plank doimiysi.

Albatta elektron spinga mos ravishda **xususiy magnet moment** (odatda, **spin magnet moment** deb yurgiziladi) ga ham ega bo'ladi:

$P_{ms} = \sqrt{3} \frac{e\hbar}{2m} = \sqrt{3} \mu_B$. Bunda $\mu_B = \frac{e\hbar}{2m} = 0,927 \cdot 10^{-24} \text{ Ж/Тл}$ **Bor magnetoni** deb ataladi. U *elektron magnet momentining birligi xisoblanadi*. Elektronning spin giromagnet nisbati $g_s = P_{ms} / L_{es} = e/m$ orbital giromagnet nisbatdan 2 marta katta ekanligi kelib chiqadi. $P_{ms} = g_s L_{es}$

Har bir elektron (shuningdek boshqa turdagi mikrozarra) erkin yoki bog'langan bo'lishidan qat'iy nazar massa, zaryad bilan bir qatorda xususiy mexanik va magnet momentiga ega. Binobarin, spin elektronning zaryadi, massasi kabi uning ajralmas fundamental xususiyatidir. Elektron spinining ajoyib xususiyati shundan iboratki, u magnet maydonida faqat ikki yo'nalishga ega bo'ladi:

- Magnet induksiya vektori \vec{B} ga parallel. Bu holda spin va spin magnet momentlarining \vec{B} yo'nalishlariga proektsiyalari mos ravishda $L_{e,s} = +\frac{1}{2}h$; $P_{ms,B} = -\mu_B$, $P_{ms,B} = \mu_B$ qiymatlarga ega bo'ladi
- Magnet induksiya vektori V ga antiparallel: $L_{e,s} = -\frac{1}{2}h$; $P_{ms,B} = +\mu_B$.

Atom yadrosi tarkibidagi proton va neytronlarning magnet momentlari elektronning spin magnet momentidan taxminan 2000 marta kichik bo'lgani uchun, atomning magnet momentini asosan atom tarkibidagi elektronlarning orbital va spin magnet momentlarining vektor yig'indisidan iborat deb hisoblash mumkin, ya'ni $P_a = \sum \vec{P}_m + \sum \vec{P}_{ms}$

Magnitlanganlik. Moddadagi magnet maydon.

Tashqi magnet maydon ta'siriga uchramagan magnetik atomlarning magnet momentlari tartibsiz yo'nalganligi sababli natijaviy magnet moment 0 ga teng bo'ladi. Tashqi maydon ta'sirida magnetiklar turlicha magnetlanadilar. Magnetiklarning magnitlanganlik darajasini belgilash uchun **magnitlanish vektori** \vec{I} dan foydalaniladi. (Bu birlik hajmdagi magnetikning magnet momentini aniqlovchi vektor kattalik): $\vec{j} = \vec{P}_m / V = \sum \vec{P} / V$ bunda $[j] = \frac{A}{M}$ Agar induksiya V bo'lgan tashqi

maydonga kiritilgan modda magnitlanib, \vec{B} xususiy magnit induktsiyasi hosil qilsa, yakuniy maydon quyidagicha aniqlanadi:

$$\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}^1 \quad \text{bunda} \quad \vec{B}_0 = \mu_0 \vec{H} \quad \text{va} \quad \vec{B}^1 = \mu_0 \vec{j} \quad \text{ekanligini e'tiborga olsak:}$$

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} + \mu_0 \vec{j} \quad \text{yoki} \quad \frac{\vec{B}}{\mu_0} = \vec{H} + \vec{j}. \quad \text{Tajribalarning ko'rsatishicha, kuchsiz maydonlar}$$

uchun magnitlanganlik-shu magnitlanganlikni hosil qiluvchi maydon kuchlanganligiga to'g'ri proporsional bo'ladi, ya'ni: $\vec{j} = \chi \vec{H}$ bunda χ -

o'lchamsiz kattalik bo'lib, uni **magnit qabul qiluvchanlik** deyiladi. YUqoridagilarni

$$\text{ixchamlab, quyidagini hosil qilamiz: } \vec{B} = \mu_0(1 + \chi)\vec{H} \quad \text{bundan:} \quad \vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0(1 + \chi)} = \frac{\vec{B}}{\mu_0 \mu}$$

$\mu = 1 + \chi$ muhitning magnit singdiruvchanligi deyiladi. U o'lchamsiz kattalik hisoblanadi.

Moddadagi magnit maydon uchun to'liq tok qonuni (\vec{B} vektor tsirikulyatsiyasi haqidagi teorema) quyidagicha ifodalanadi:

$\oint \vec{B} dl = \oint B_e dl = \mu_0(I + I^1)$ bunda I va I_1 mos holda ixtiyoriy L berk kontur bilan chegaralangan makrotok (o'tkazuvchanlik toki) va mikro tok (molekulyar tok)larning algebraik yig'indisi.

Agar $\oint \vec{j} d\vec{e} = I$ ekanligini e'tiborga olsak:

$$\oint \left(\frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{j} \right) dl = \oint \vec{H} dl = I$$

ekanligi ma'lum bo'ladi. Bu ifoda \vec{H} -vektorining tsirkulyatsiyasi haqidagi teoremani ifodalaydi. Barcha magnetiklar o'zlarining magnit qabul qiluvchanliklarning ishorasi va qiymatlariga qarab uch sinfga bo'linadi:

- Diamagnetiklarda $\chi < 0$ bo'ladi. Bu sinfga oid bo'lgan moddalar (fosfor, oltingugurt, sur'ma, uglerod, simob, oltin, kumush, mis kabi elementlar suv va ko'pchilik organik birikmalar)da magnit maydon bir oz susayadi ($\mu = 1 + \chi < 1$).

- Paramagnetiklarda $\chi > 0$ bo'ladi. Bu sinfga kiruvchi kislorod, azot, alyuminiy, platina, vol'fram kabi elementlarda magnit maydon bir oz kuchayadi. ($\mu = 1 + \chi > 1$)

- Ferromagnetiklarda $\chi \gg 0$ bo'ladi. Bu sinfga kiruvchi temir,

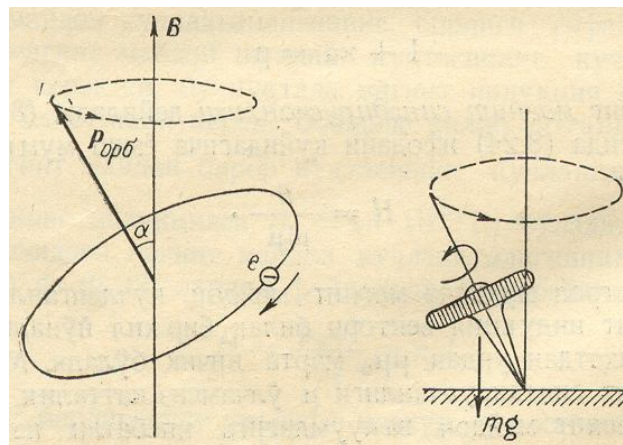
nikel', kobal't kabi metallarda va ularning qotishmalarida magnit maydon juda zo'rayib ketadi.

Dinamagnetizm va paramagnetizm.

Tashqi magnit maydon ta'siri ostida atomning elektron orbitalari aylanma tokka ekvivalent bo'luvchi pretsessin harakat sodir qiladi. Chunki induksiya vektori orbita tekisligiga nisbatan pastga yoki yuqoriga yo'nalishidan qat'iy nazar, elektronning orbital harakatida $F = m_e \omega_0^2 r$ bilan aniqlanadigan chastota o'zgarishi sodir bo'ladi. Agar elektronning orbital magnit moment vektori \vec{P}_m tashqi magnit maydon induksiya vektori \vec{B} bilan α burchak hosil qilsa, orbita bo'ylab harakat qilayotgan elektronga qiymati $M = P_m B \sin \alpha$ bo'lgan aylantiruvchi moment ta'sir etadi. Natijada \vec{P}_m vektorining \vec{B} atrofida pretsession harakati vujudga keladi. Bu harakatning burchak tezligi **Larmor chastotasi** deyiladi.

$$\omega_L = \frac{eB}{2m_e} = \frac{e\mu_0 H}{2m_e}$$

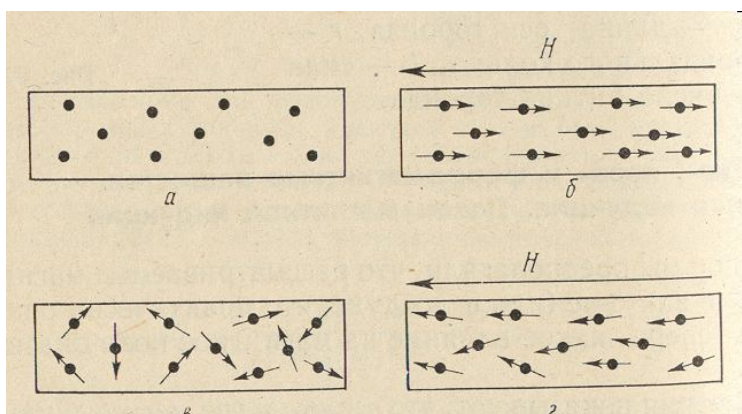
Demak, elektronning magnit momenti fazoda qanday joylashishidan qat'iy nazar, tashqi magnit maydon ta'sirida elektronning orbital magnit momenti yadro markazidan o'tgan o'qqa nisbatan ω_L -doiraviy chastota bilan pretsession harakat qiladi. Bu xulosa **Larmor teoremasi** deb ataladi.



2-rasm

Elektronning harakati tufayli hosil bo'luvchi mikro tok tashqi magnit maydonining ta'sirida induktsiyalangani sababli, Lents qoidasiga binoan amalda tashqi maydonga qarama-qarshi yo'naladigan maydon paydo bo'ladi. Shu tariqa

orbital bo'ylab harakat qilayotgan elektron tashqi magnit maydon ta'sirida \vec{B} vektorga teskari yo'nalgan qo'shimcha magnit momentini vujudga keltiradi (3-rasm).



3-rasm

Bu hodisa **diamagnit effekt** deb ataladi. Diamagnit effekt atomlarining magnit momentlari 0 ga teng bo'lgan moddalarda namoyon bo'ladi. Tashqi magnit maydoni bo'lmagan taqdirda bunday moddalar atomlari tarkibidagi elektronlarning magnit momentlari o'zaro bir-birini kompensatsiyalaydi. Bunday moddalarning qabul qiluvchanligi manfiy bo'ladi. Ularni **diamagnetiklar** deb aytiladi. Eng kuchli diamagnetik xisoblangan vismut uchun $\chi = 1,4 \cdot 10^{-6}$ ga teng.

Tashqi maydon bo'lmagan taqdirda modda atomlarining magnit momenti 0 dan farqli bo'lsa, magnit maydon bunday modda atomlarining magnit momentlarini maydon bo'ylab yo'naltirishga harakat qiladi. Natijada tashqi magnit maydoni kuchayadi. Bu hodisani **paramagnit effekt** unga mos keluvchi moddalarni esa **paramagnetiklar** deb ataladi.

Paramagnetiklar magnit qabul qiluvchanligining temperaturaga bog'liqligi Kyuri qonuni deb ataluvchi quyidagi formula bilan ifodalanadi: $\chi = \frac{C}{T}$ bunda S-ayni modda uchun konstanta bo'lib, uni **Kyuri doimiysi** deyiladi. Temperatura oshsa, magnitlanish kamayadi, lekin juda past temperaturalarda Kyuri qonunidan chetlashishi kuzatilishini esda tutmoq lozim. Yuqoridagilarni quyidagicha xulosalash mumkin:

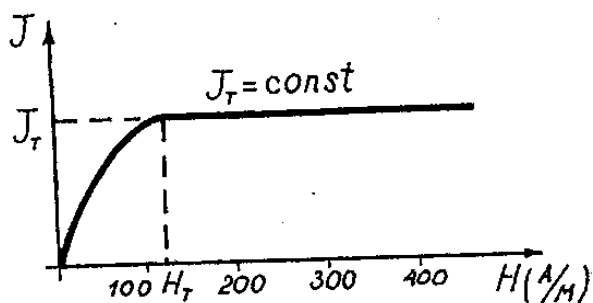
- Diamagnetizm barcha jismlarga birday taalluqli xususiyat hisoblanadi, chunki u tashqi magnit maydonining modda atom va molekullardagi elektron orbitalashga ta'sirini namoyon qiladi.

- Orbitalardagi elektron harakat tezligining o'zgarishi oqibatida tashqi maydonga teskari yo'nalib, uni susaytiradigan qo'shimcha magnit maydoni hosil bo'ladi (Lents qonuni). Shunday qilib, har qanday modda uning ichiga magnit maydoni kirib kelishiga to'sqinlik qiladi.
- Diamagnit effekt orbitalar joylashuvining tartiblanishi bilan bog'liq emas. Shuning uchun diamagnit qabul qiluvchanlik χ temperaturaga farqsiz.
- Moddaning atom va molekulari xususiy magnit momentiga ega bo'lmagan taqdirdagina u diamagnit bo'la oladi. Bu holda moddaning unga ta'sir qiluvchi tashqi magnit maydoniga ko'rsatadigan birdan-bir reaksiyasi faqat diamagnit effektidan iborat bo'ladi.

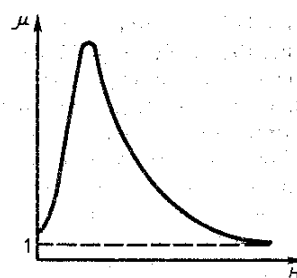
Ferromagnetiklar. Magnit gisterezisi. Kyuri nuqtasi.

Tashqi magnit maydoni bo'lmagan holda ham o'z-o'zidan (spontan tarzda) kuchli magnitlanuvchi moddalarni **ferromagnetiklar** deb ataladi. Temir, kobal't, nikel', gadoliny hamda uning qotishmalari va ximiyaviy birikmalari ferromagnetiklar turkumiga kiradi. Ularning asosiy xususiyatlari quyidagilardan iborat:

1. Dia va paramagnetiklarda \vec{j} va \vec{H} orasidagi bog'lanish chiziqli, lekin ferromagnetiklarda murakkab tabiatga ega. Bu ularning kuchsiz maydonlarda ham to'yinishgacha magnitlanishi bilan bog'liq. 1- rasmda temir uchun $j = f(H)$ bog'lanish diagrammasi keltirilgan.



1-rasm



2-rasm

Grafikdan ravshanki, kuchsiz magnit maydonda temirning magnitlanishi tik egri chiziq bo'yicha ortib, keyin magnitlanish egri chizig'ning tikligi bir oz kamayadi. Magnit maydon kuchlanganligi taxminan $100 \frac{A}{M}$ dan o'tgach $j = const = j_T$

(to'yinish) holatiga erishadi. Bu paytda moddadagi barcha molekullarning magnet momentlari maydon bo'ylab yo'nalish olish (orientatsiyalanish)ga ulguradi.

2. Ferromagnetiklar μ juda katta qiymat (masalan temir uchun 5000, supermulli qotishmasi uchun esa 800 000)ga ega bo'lib, u \vec{H} bog'liq tarzda oshib boradi. (2 rasm)

μ dastlab N ortishi bilan o'sadi, keyin maksimal qimmatga erishgach keskin kamayadi. Kuchli maydonlarda uning qiymati 1 ni tashkil etadi. Chunki

$\mu = \frac{B}{(\mu_0 H)} = 1 + \frac{j}{H}$ $j = j_T = const$ holda N ortsa $\frac{j}{H} \rightarrow 0$ va buning oqibatida $\mu \rightarrow 1$ ($\chi \rightarrow 0$) natijaga kelamiz.

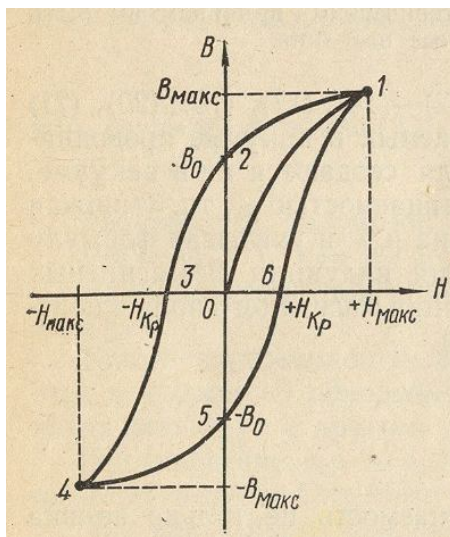
3. Ferromagnetiklarning yana bir xususiyati ularning tashqi magnet maydon (masalan, temir o'zakning tokli solenoid ichiga kiritish) ta'sirida magnetlanib qolishidir. Bunda ferromagnet jism uni magnetlovchi maydon hududidan chiqarilgandan so'ng ham o'zining magnetlanganlik (qoldiq magnetizm, doimiy magnet) holatini saqlaydi.

4. Ferromagnet jismlar magnetlanish va magnitsizlanish jarayonida o'z geometrik o'lchamlarini o'zgartiradilar. Bu hodisani **magnitostriksiya** deb ataladi. Jism uzunligining tashqi maydon yo'nalishidagi nisbiy o'zgarishi magnetlanganlik kvadratiga proporsional bo'ladi:

$$\Delta \frac{l}{l} = \alpha j^2$$

Magnitostriksiya (shuningdek elektrostriksiya ham) ul'tratovush hosil qilish va uni o'lchashda foydalaniladi.

Ferromagnet jismlarning magnetlanishi, magnitsizlanishi qayta magnetlanish jarayonlarini kuzatib beshinchi xususiyatni aniqlaymiz.



3-rasm

5. Ferromagnitdagi magnit maydon induktsiyasining tashqi maydon kuchlanganligiga bog'liq ravishda o'zgarishi 0-1 egri chizig'i bo'ylab sodir bo'ladi. N ni kamaytirsak V ning qiymati 1-0 chiziq bo'ylab emas, balki 1-2 chiziq bo'ylab kamayadi. $N=0$ bo'lganda xam ferromagnitdagi magnit maydon yo'qolmaydi. 0-2 bilan ifodalanuvchi va V_0 ga mos keluvchi qoldiq induktsiya saqlanib qoladi. Bu qiymatni odatda **qoldiq magnitlanish** deb ham ataladi. U 0-3 ga mos keluvchi $N=-N_{kr}$ qiymatga borganda yo'qoladi. N_{kr} ning qiymati **koertsitiv kuch** deyiladi. Teskari yo'nalishdagi magnitlovchi maydon N yanada orttirilganda V ham teskari yo'nalishda 3-4 egri chizig'i bo'ylab ortib boradi. Shundan keyin magnitlovchi maydonning yo'nalishini yana o'zgartirish natijasida V ning N ga bog'liqligi 4-5-6-1 egri chizig'i bo'ylab sodir bo'ladi. Magnit induktsiyasi o'zgarishining magnitlovchi maydon kuchlanganligi o'zgarishidan kechikish (ortda qolish) hodisasiga **magnit gisterezis** deb aytiladi. 1-2-4-5-1 berk egri chiziqni esa **gisterezis sirtmog'i** deb yuritiladi.

Gisterezis sirtmog'i bilan chegaralangan yuza ferromagnetikni bir marta qayta magnitlash uchun tashqi maydon tomonidan bajariladigan ishni xarakterlaydi. Bu bajarilgan ish hisobiga issiqlik miqdori ajralib chiqadi. Ferromagnetikning qayta magnitlanish jarayonidagi energiya isrofini kamaytirish maqsadida kichik gisterezis sirtmoqli ferromagnit (yumshoq magnitli materiallar)dan (masalan, transformator o'zagini tayyorlashda) foydalaniladi. Doimiy magnitlarni tayyorlashda esa aksincha, koertsitiv kuchi katta miqdorni tashkil etuvchi ferromagnetik (qattiq magnitli material)lar qo'llaniladi.

1. Har bir ferromagnetik **Kyuri nuqtasi** T_k deb ataluvchi aniq bir temperaturada o'zining ferromagnetiklik xususiyatlarini yo'qotadi. Bunda u oddiy paramagnitga aylanadi. Magnit qabul qiluvchanlik μ ning absolyut temperaturaga bog'liqligini **Kyuri-Veyss qonuni** ifodalaydi:

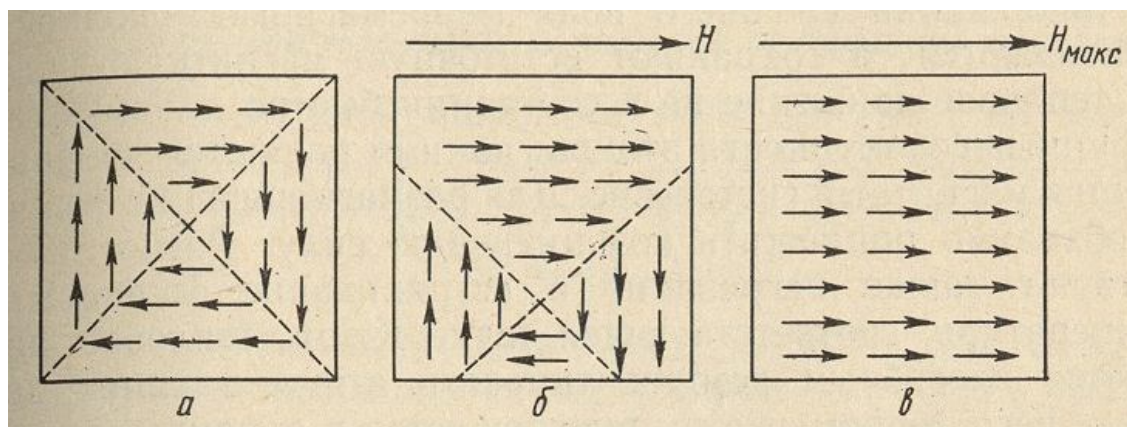
$$\chi = \frac{C}{T - T_k}$$

bunda S -doimiy miqdor (ayni shu berilgan modda uchun).

Mustaqil ta'limda o'rganish uchun material

Ferromagnetizmning tabiati

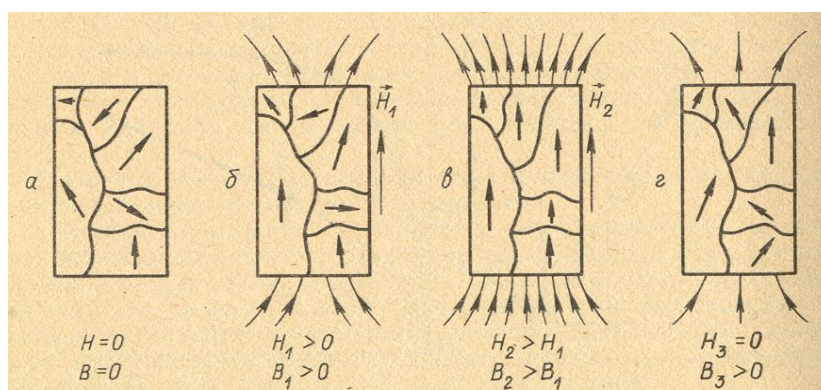
Ferromagnit kristalining panjarasidagi atomlar o'zaro bir-biri bilan juda kuchli ta'sirlashadi. Bu ta'sirlashuv, asosan chetgi qobiqdagi elektronlar orqali sodir bo'ladi. Kristalldagi kuchli atomlarning elektron qobiqlari bir-birining ichiga kirib boradi, natijada atomlar bir-biri bilan elektronlar almashish imkoniyatiga ega bo'ladi. Bu ta'sirlashuv natijasida vujudga keladigan o'zaro almashinuvchi kuchlar tufayli elektronlarning spin magnet momentlari o'zaro parallel joylashadi. Natijada, ferromagnetik ichida shunday sohachalar mavjud bo'ladiki, bu sohachalardagi spin magnet momentlar o'z-o'zidan (spontan ravishda) bir tomonga yo'nalgan bo'ladi. Bu sohachalarni **domenlar** deb ataladi. Domenlarning o'lchamlari 10^{-3} - 10^{-4} sm chamasida bo'ladi.



1-rasm

Turli domenlarning magnet momentlari turlicha yo'nalgan bo'lib tashqi magnet maydon bo'lmagan holda, ferromagnit parchasidagi barcha domenlar magnet momentlarining vektor yig'indisi 0 ga teng bo'ladi (1a-rasm).

Shuning uchun har bir domendagi magnetlanish juda kuchli bo'lishiga qaramasdan ferromagnetik parchasi magnetlanmagan bo'ladi. (1b-rasm)



2-rasm

Tashqi maydon kuchlanganligi unchalik katta bo'lmaganida domenlar chegaralarining siljishi sodir bo'ladi. Bunda magnit momentlarining yo'nalishlari tashqi maydon yo'nalishiga yaqinroq bo'lgan domenlar boshqa domenlar hisobiga kattalashadi. Tashqi magnit maydonni orttirib borsak, domenlarning magnit momentlari tashqi maydon bo'ylab yo'nalib qoladi. (1v-rasm).

Bu vaziyatni **magnitlanishning texnik yo'nalishi** deb ataladi.

Domendagi spontan magnitlanishning maksimal qiymatga erishishi faqat 0 K dagina sodir bo'ladi. 0 K dan farqli temperaturalarda issiqlik harakat energiyasining "buzuvchilik" ta'siri tufayli domenning natijaviy magnit momenti maksimal qiymat (to'yinish)ga erishmaydi.

Ferritlar

Domenli tuzilish faqat ferromagnitlarga xos bo'lgan xususiyatdir. Ferromagnit kristall panjarasidagi atomlar bir-biriga juda yaqin joylashgan. Ikki qo'shni atomdagi valent elektron orbitalarining ustma-ust tushishi tufayli ular o'zaro elektron almashinib turadilar. Bunday almashinuv kuchlari atom magnit momentlarini bir-biriga parallel yoki antiparallel joylashtirishi mumkin. Birinchi holda namuna ferromagnit, ikkinchi holda esa antiferromagnit tuzilishga ega bo'ladi. Antiferromagnitlarning ferromagnitlardan farqi, ularning tarkibida o'z-o'zidan magnitlangan domenlarning yo'qligidir. Bu xususiyat bilan antiferromagnit paramagnitga o'xshashdir. Lekin antiferromagnitlar uchun **Nyoel' temperaturasi** deb ataluvchi kritik T_n temperatura mavjud bo'lib, bu haroratda antiferromagnit paramagnitdan butunlay farq qiladi. Xususan $T < T_n$ shartni qanoatlantirganda uning solishtirma magnit qabul qiluvchanligi keskin oshadi. Aksincha $T > T_n$ bo'lganida esa, u paramagnit tabiatiga ega bo'lib qoladi va Kyuri qonuniga bo'ysunadi.

MnO , MnF , FeO , $FeCl_2$, CoO kabi birikmalar antiferromagnetiklarga misol bo'la oladilar. Ularning temperaturasi oshganida magnit qabul qiluvchanligi ham dastlab oshadi, $T=T_n$ da maksimal qiymatga erishadi va so'ngra kamayadi.

Agar antiferromagnetiklarning ayrim panjaralarining magnit momentlari o'zaro teng bo'lmasa, ulardagi umumiy magnit moment 0 dan farqli bo'lib, uning qiymati ferromagnetik magnit momentining qiymatiga yaqinlashib qoladi. Bunday moddalarni **ferritlar** deb ataladi. Ferritlar-yarim o'tkazgichlar bo'lib, ularning solishtirma elektr qarshiliklari metallarnikidan milliardlab marta katta bo'ladi. Masalan, temirning solishtirma qarshiligi $8,5 \cdot 10^{-8} \text{ Om}\cdot\text{m}$ bo'lsa, ferritlarning solishtirma qarshiligi 10^4 dan $10^7 \text{ Om}\cdot\text{m}$ gacha o'zgaradi.

$MeO \cdot Fe_2O_3$ -tipidagi ximiyaviy birikmalar ferritlarni tashkil etadi. Bunda Me 2 valentli metall (Mn , Co , Ni , Cu , Mg , Zn , Gd , Fe) ning ioni. Ferritlardan doimiy magnitlar, ferritli antenalar, radiochastotali konturlarning o'zagi, hisoblash texnikasida operativ xotira elementlarini yasashda foydalaniladi.

Sinov savollari.

1. Diamagnetiklar va paramagnetiklarni tushuntiring. Ularning magnit xossalarida qanday farqlar bor?
2. Paramagnetik va dimagnetik uchun magnit singdiruvchanlik va qabul qiluvchanlik orasidagi bog'lanishni yozib, uni tushuntirib bering?
3. Magnit maydon induksiya vektori hamda magnit maydon kuchlanganlik vektorlari bilan magnitlanganlik orasidagi bog'lanishni aniqlang?
4. Larmor teoremasi nimadan iborat?
5. Kyuri qonunini tushuntiring?
6. Ferromagnetiklarni ta'riflang. Ularga misollar keltiring? Nima sababdan ferromagnetiklarda magnitlanganlikning to'yinishi kuzatiladi?
7. Ferromagnetiklarda μ ning qiymati nimalarga bog'liq va u qanday o'zgaradi?
8. Gisterezis sirtmog'i hosil bo'lish jarayonini izoxlab bering?
9. Ferromagnetizm tabiati nimadan iborat?
10. Ferritlar va uning xossalarini aytib bering?

10-Ma'ruza rejasi.

- Kirish.
- Uyurmali elektr maydon.
- Siljish toki.
- Maksvellning integral tenglamalar tizimi.
- Maksvellning differentsial tenglamalar tizimi.

Mustaqil ta'lim

- Elektromagnit maydon va uning xossalari.

Elektromagnit maydon uchun Maksvell nazariyasi asoslari

D.K Maksvell, Faradeyning elektr va magnit maydonlari haqidagi g'oyalariga tayanib, tajriba yo'li bilan aniqlangan qonunlarni umumlashtirdi va pirovard natijada elektromagnit maydoning yaxlit, tugallangan nazariyasini yaratdi. Maksvell nazariyasi tarkibiga elektrostatika va elektromagnetizmning Gauss teoremasi, to'liq tok qonuni va elektromagnit induksiyaning asosiy qonuni kabi juda muhim qonunlari kiradi. Maksvell nazariyasida elektrodinamikaning asosiy masalasi hisoblangan berilgan tizimdagi elektr zaryadlari va toklar hosil qiladigan elektromagnit maydon xarakteristikalarini aniqlash vazifasi hal qilinadi.

Uyurmali elektr maydon

Faradey qonuniga ko'ra $\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt}$ konturga ilashgan magnit oqimining har qanday o'zgarishi natijasida induksiya elektr yurituvchi kuchi va unga mos holda induksion tok paydo bo'ladi. Demak, o'zgaruvchan magnit maydonida joylashgan qo'zg'almas konturda ham induksion *EYUK* hosil bo'lar ekan. Lekin, ma'lumki, istalgan zanjirdagi *EYUK* undagi zaryadli zarrachalarga noelektrik tabiatli tashqi kuchlar ta'sir etgandagina hosil bo'lar edi. Shu sababli bizning holimizda tashqi kuchlarning tabiati qanday? - degan haqli savol tug'iladi.

Tajribalar, tashqi kuchlar konturdagi issiqlik harakatlari, kimyoviy jarayonlar va yoki Lorents kuchi bilan mutlaqo bog'liq bo'lmasligini ko'rsatdi. Bu muammoni

hal qilmoq niyatida Maksvell “*Har qanday o’zgaruvchan magnit maydoni fazoda o’zgaruvchan elektr maydonini hosil qiladi*” degan gipotezani ilgari surdi. Uning fikriga ko’ra konturning o’zi bu holda ikkinchi darajali rolni o’ynaydi, ya’ni induksion tok hosil bo’lganini faqat qayd qiladi, xolos.

Boshqacha aytganda, *maydonda o’tkazgich (kontur) bor yoki yo’qligidan qat’iy nazar, o’zgaruvchan magnit maydoni bilan uzviy bog’liq holda induksiyanuvchi uyurmali elektr maydoni so’zsiz hosil bo’ladi*. Uning tsirkulyatsiyasi quyidagicha ifodalanadi:

$$\oint_L \vec{E}_B d\vec{l} = \oint_L E_{Bl} dl = -\frac{d\Phi}{dt} \quad \text{agar} \quad \Phi = \int_S B dS,$$

ekanligini e’tiborga olsak, unda:

$$\oint_L \vec{E}_B d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \int_S B dS$$

Agar yuza va kontur qo’zg’almas bo’lsa, unda differentsiallash va integrallash amallarining o’rinlarini o’zaro almashtirib yozish mumkin:

$$\oint_L \vec{E} d\vec{l} = -\int_S \frac{\partial B}{\partial t} d\vec{S}$$

Lekin bizga yaxshi ma’lumki, elektrostatik maydon kuchlanganligining istalgan berk kontur bo’yicha tsirkulyatsiyasi 0 ga teng bo’lar edi, ya’ni:

$$\oint_L \vec{E}_Q d\vec{l} = \oint_L E_{Ql} dl = 0$$

Bu ikki ifodani solishtirib, ko’rilayotgan maydon (\vec{E}_B va \vec{E}_Q)lar orasida printsiptial farq borligini kuzatamiz. \vec{E}_B vektor tsirkulyatsiyasi E_Q dan farqli holda 0 ga teng bo’lmas ekan. Demak, E_V elektr maydoni uni hosil qiluvchi magnit maydoni singari uyurmali.

Siljish toki

Maksvell, o’zgaruvchan elektr maydoni xuddi elektr toki singari magnit maydonining manbasi bo’lishi mumkin deb taxmin qildi va uning asosida to’liq tok qonunini umumlashtirdi. O’zgaruvchan elektr maydonining “magnit ta’sirini” miqdor jixatdan xarakterlash uchun u **siljish toki** deb ataluvchi yangi tushunchani kiritdi.

Gauss teoremasiga ko'ra berk S sirt orqali o'tuvchi siljish oqimi quyidagicha aniqlanadi:

$$\Phi_E = \oint_S \vec{D} d\vec{S} = Q$$

bunda Q - S berk sirt qamrab oluvchi erkin zaryadlarning algebraik yig'indisidan iborat. Bu ifodani vaqt bo'yicha differentsiallaymiz:

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{d\Phi_E}{dt} = \frac{d}{dt} \oint_S \vec{D} d\vec{S} = \oint_S \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} d\vec{S}$$

tenglamani $I = I_{ca} = \int_S \vec{j}_{ca} d\vec{S}$ formula bilan solishtirib $\vec{j}_{ca} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$ ekanligini bilib olamiz.

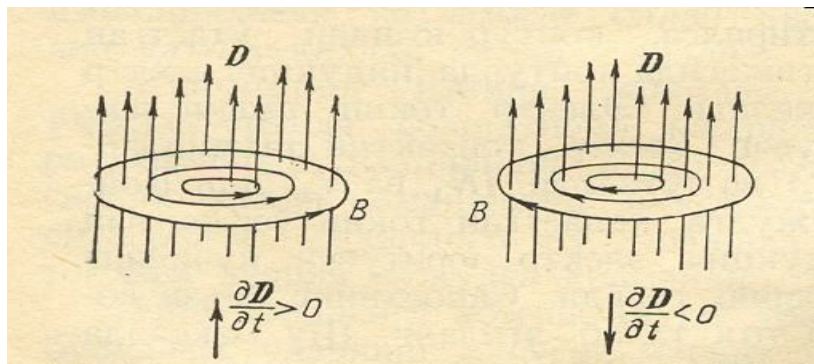
Bu ifodani **Maksvell siljish tokining zichligi** deb atadi. U quyidagicha ta'riflanadi:

Fazoning berilgan nuqtasidagi siljish tokining zichligi shu nuqtadagi elektr siljish vektorining o'zgarish tezligi bilan xarakterlanadi. Istalgan S sirt orqali siljish toki quyidagi formula bilan ifodalanadi:

$$I_{ca} = \int_S \vec{j}_{ca} d\vec{S} = \int_S \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} d\vec{S}$$

Fazoning biror sohasidagi elektr maydonning har qanday o'zgarishi tufayli fazoning shu sohasida induksion magnit maydonning vujudga kelish hodisasini **magnitoelektr induksiya hodisasi** deyiladi. Magnit maydon induksiyasi chiziqlarining yo'nalishi shu maydonning vujudga kelishiga sababchi bo'layotgan elektr maydon o'zgarishini xarakterlovchi $\frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$ vektorning yo'nalishi bilan o'ng vint qoidasi asosida bog'langan.

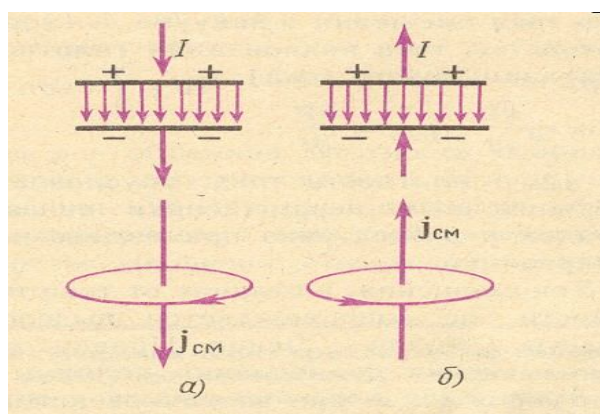
Elektr maydon kuchayib borayotgan bo'lsa, \vec{D} vektorning vaqt o'tishi bilan o'zgarishini xarakterlovchi $\frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$ vektorning yo'nalishi \vec{D} vektorning yo'nalishi bilan mos bo'ladi. Aksincha, elektr maydon susayayotgan bo'lsa, $\frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$ vektorning yo'nalishi \vec{D} vektor yo'nalishiga qarama-qarshi bo'ladi (1-rasm).



1-rasm

Siljish toki tushunchasi kiritilgach, Maksvell avvaldan, elektr zanjirlarining albatta berk bo'lishi lozim deb qaralib kelayotgan shartiga yangicha qarash bilan yondashadi. Ma'lumki, o'zgarmas tok zanjiri berk bo'lishi lozim. Lekin o'zgaruvchan tok zanjiri uchun bu talabning bajarilishi shart emas. Masalan, kondensatorni zaryadlash va zaryadsizlantirishda, elektr toki kondensator qoplamalarini birlashtiruvchi o'tkazgichdan o'tadi, lekin shu qoplamalar ichida joylashgan dielektrikdan esa o'tmaydi. Maksvellning talqinicha, *har qanday o'zgaruvchan tok zanjirlari ham doimo berk bo'ladi. Faqat zanjirning o'tkazgich bo'lmagan qismlarida (masalan, kondensator plastinkalari oralig'idan) siljish toki "oqib" o'tadi, ya'ni bu zanjirlarning berkligi siljish toklari orqali ta'minlanadi.*

2-rasmda siljish toklari zichligining vektorlari va ularga mos keluvchi maydonlarning magnit induksiya chiziqlari aks ettirilgan. Bunda *a*-kondensatorni zaryadlash (elektr maydonini kuchayishi)ga, *b*-kondensatorni zaryadsizlantirish (elektr maydonining susayishi)ga mos keladi (2-rasm).



2-rasm

Maksvell yuqoridagilarni quyidagicha xulosaladi:

Siljish toki odatdagi o'tkazuvchanlik toki singari, uyurmali magnit maydonning manbasi hisoblanadi. Bu maydon uchun \vec{H} kuchlanganlik vektorining

berk kontur bo'yicha tsirkulsiyasi 0 ga teng emas. Ma'lumki, dielektrikda elektr siljish vektori (yoki **maydonning elektr induksiya** deb xam yuritiladi). \vec{D} ikki qismdan tashkil topadi:

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$$

bunda \vec{P} – qutblanish vektori bo'lib, u birlik hajmdagi dielektrikdagi dipol momentlarining geometrik yig'indisini ifodalaydi. Shuni e'tiborga olib, dielektrikdagi siljish tokining zichligini quyidagicha ifodalaymiz:

$$\vec{j}_{c\wedge} = \varepsilon_0 \cdot \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \frac{\partial \vec{P}}{\partial t}.$$

Bunda birinchi had vakuumda siljish tokining zichligi bo'lib, u zaryadlarning harakatiga mutlaqo bog'liq emas, balki faqat elektr maydonining vaqt bo'yicha o'zgarishi bilan aniqlanadi. Ikkinchi hadi esa qutblanish tokining zichligi hisoblanadi:

$$\vec{j}_{ca} = \varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}, \vec{j}_{qutb} = \frac{\partial \vec{P}}{\partial t}$$

Bunda \vec{j}_{kymo} -dielektrik qutblanishining o'zgarishida undagi bog'langan zaryadlarning tartibli holda ko'chishi natijasida paydo bo'luvchi tokning zichligidir.

O'tkazuvchanlik tokidan farqli o'laroq, siljish toki o'tganida Joule-Lentse issiqligi ajralib chiqmaydi.

Maksvell o'tkazuvchanlik (shuningdek konveksion) va siljish toklarining geometrik yig'indisidan iborat bo'luvchi **to'liq tok** tushunchasini kiritdi. To'liq tokning zichligi quyidagiga teng: $\vec{j}_{mya} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$ yuqorida qayd etib o'tilganidek, siljish toki va to'liq tok tushunchalariga asoslanib, Maksvell o'zgaruvchan tok zanjirlarining berkligiga yangicha nazar bilan yondashdi. Unga ko'ra *to'liq tok doimo berkdir. O'tkazuvchanlik toki uzilgan nuqtadan siljish toki uni davom ettirib, kuch chiziqlarini berk holiga olib keladi.*

Maksvell, \vec{H} vektor tsirkulyatsiyasi haqidagi teoremani uning o'ng qismiga to'liq tok $I_{mya} = \int_s \vec{j}_{mya} \cdot d\vec{S}$ ni kiritib, umumlashtirdi. Shular e'tiborga olinsa, \vec{H} vektor tsirkulyatsiyasi haqidagi umumlashgan teorema quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\oint_L \vec{H} d\vec{l} = \int_s \left(\vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) d\vec{S}$$

Bu ifoda har doim o'rinli bo'lib, u nazariya va amaliyotning bir-biriga to'liq mos kelishini anglatadi.

Maksvellning integral tenglamalar tizimi

Maksvell nazariyasining asosini uning nomi bilan ataladigan to'rtta tenglama tashkil etadi.

1) Qo'zg'almas zaryad Q o'z atrofidagi fazoda elektrostatik maydon vujudga keltiradi. Bu maydon potentsial maydondir. Shuning uchun bu maydon kuchlanganlik vektori E_Q ning ixtiyoriy berk kontur bo'yicha tsirkultsiyasi 0 ga teng:

$$\oint_L E_Q dl = 0$$

Elektr maydon fazoning vaqt davomida o'zgarib turuvchi magnit maydon mavjud bo'lgan barcha nuqtalarida ham vujudga keladi. Lekin bu elektr maydon qo'zg'almas elektr zaryadlar atrofida vujudga keluvchi maydondan farqli ravishda potentsial maydon emas, balki uyurmali elektr maydondir. Uyurmali elektr maydon kuchlanganligi \vec{E}_B ning chiziqlari doimo berk. \vec{E}_B vektorning ixtiyoriy berk kontur bo'yicha tsirkulyatsiyasi 0 dan farqli:

$$\oint_L E_B dl = - \int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{S}$$

Umumiy holda elektr maydon \vec{E}_Q va \vec{E}_B maydonlarning yig'indisidan iborat bo'lishi mumkin. Shuning uchun natijaviy elektr maydon kuchlanganligini

$$\vec{E} = \vec{E}_Q + \vec{E}_B$$

deb belgilab, quyidagini hosil qilamiz:

$$\oint \vec{E} d\vec{l} = - \int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}$$

Bu tenglama **Maksvellning birinchi tenglamasi** bo'lib, *u elektr tokining manbasi nafaqat elektr zaryadi, balki vaqt bo'yicha o'zgaruvchi magnit maydonlari ham bo'lishi mumkinligini ko'rsatadi.*

2) Umumiy holda magnit maydon o'tkazuvchanlik toki va siljish toklari tufayli vujudga kelgan magnit maydonlarning yig'indisidan iborat bo'ladi. Shu sababli, bu hol uchun \vec{H} vektor tsirkutsiyasi haqidagi umumlashgan teoremdan foydalanishimiz lozim:

$$\oint_L \vec{H} d\vec{l} = \int_S \left(\vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) dS$$

Bu ifoda **Maksvellning ikkinchi tenglamasi** bo'lib, *u magnit maydonini harakatlanuvchi zaryad (elektr toki) va yoki o'zgaruvchan elektr maydonlari hosil qilishini anglatadi.*

3) **Maksvellning uchinchi tenglamasi** \vec{D} maydon uchun **Gauss teoremasidan** iborat:

$$\oint_S \vec{D} d\vec{S} = Q$$

ya'ni, *elektr induksiya vektori \vec{D} ning ixtiyoriy berk sirt orqali oqimi shu sirt ichidagi barcha erkin zaryadlarning algebraik yig'indisiga teng.* Agar zaryad berk sirtning ichida uzluksiz ρ -hajmiy zichlik bilan taqsimlangan bo'lsa, yuqoridagi formulani quyidagicha yozamiz:

$$\oint_S \vec{D} d\vec{S} = \int_V \rho dV$$

Ravshanki, uyurmaviy elektr maydon induksiya chiziqlarning berk sirt orqali oqimi 0 ga teng. Natijada umumiy maydon induksiya vektorining oqimi faqat qo'zg'almas zaryadlar tufayli vujudga kelgan elektr maydon induksiya vektorining oqimiga teng bo'ladi, u esa berk sirt ichidagi erkin zaryadlarning algebraik yig'indisiga teng.

4) **Maksvellning to'rtinchi tenglamasi** \vec{B} maydon uchun **Gauss teoremasidan** iborat:

$$\oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0$$

ya'ni, *magnit maydon qanday usul bilan vujudga keltirilganidan qat'iy nazar magnit induksiya chiziqlari doimo berk bo'ladi.*

YUqorida ko'rib o'tilgan to'rt tenglama **integral shakldagi Maksvell tenglamalarining to'liq tizimini** tashkil etadi. Uning tarkibiga kiruvchi kattaliklar orasida quyidagicha munosabatlar o'rinli (segnetoelektrik va ferromagnetik bo'lmagan muhitlar uchun):

$$\begin{aligned}\vec{D} &= \varepsilon_0 \varepsilon \vec{E} \\ \vec{B} &= \mu_0 \mu \vec{H} \\ \vec{j} &= \gamma \vec{E}\end{aligned}$$

bunda ε_0 va μ_0 - mos holda elektr va magnit doimiylari, ε va μ - mos holda muhitning dielektrik va magnit sindiruvchanligi, γ - esa moddaning solishtirma o'tkazuvchanligi.

Maksvell tenglamalari elektr va magnit maydonlariga nisbatan simmetrik emas. Bu fakt tabiatda faqat elektr zaryadlari mavjudligi bilan bog'liq.

Statsionar maydonlar ($E = const$ va $V = const$) uchun Maksvell tenglamalari quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\begin{aligned}\oint_L \vec{E} d\vec{l} &= 0 & \oint_S \vec{D} d\vec{S} &= Q \\ \oint_S \vec{B} d\vec{S} &= 0 & \oint_L \vec{H} d\vec{l} &= I\end{aligned}$$

ya'ni, bu holda elektr maydonini faqat elektr zaryadlari, magnit maydonini esa faqat o'tkazuvchanlik toklari hosil qiladi. Elektr va magnit maydonlari bir-biridan mustaqil holda mavjud bo'ladi. Shuning uchun doimiy elektr va magnit maydonlarini alohida-alohida o'rganish mumkin bo'ladi.

Maksvellning differentsial tenglamalar tizimi

Vektorlar analizi fanidan ma'lum bo'lgan **Stoks va Gauss teoremlari**:

$$\begin{aligned}\oint_L \vec{A} d\vec{l} &= \int_S \text{rot} \vec{A} d\vec{S} \\ \oint_S \vec{A} d\vec{S} &= \int_V \text{div} \vec{A} dV\end{aligned}$$

dan foydalanib, **differentsial shakldagi Maksvell tenglamalarining to'liq tizimini** hosil qilishimiz mumkin:

$$\begin{aligned}\text{rot} \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} & \text{div} \vec{D} &= \rho \\ \text{rot} \vec{H} &= \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} & \text{div} \vec{B} &= 0\end{aligned}$$

Differentsial shakldagi tenglamalar fazoning har bir tayinli nuqtasidagi maydonni xarakterlaydi.

Agar zaryad va toklar fazoda uzluksiz taqsimlangan bo'lsa, Maksvell tenglamalarining ikkala shakli ham o'zaro ekvivalent bo'ladi. Aksincha, hollarda integral shaklidagi tenglamalardan foydalaniladi.

Differentsial shakldagi Maksvell tenglamalari barcha kattaliklar fazo va vaqtda uzluksiz tarzda o'zgarishini nazarda tutadi.

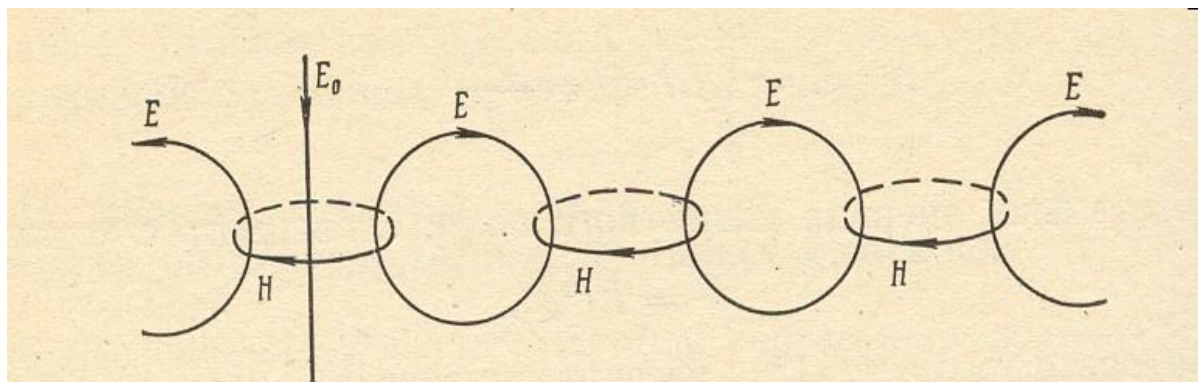
Agar differentsial tenglamalar ikki muhitni ajratuvchi chegaradagi elektromagnit maydonni qanoatlantiruvchi $D_{1n}=D_{2n}$, $E_{1n}=E_{2n}$, $B_{1n}=B_{2n}$, $H_{1n}=H_{2n}$ chegaraviy shartlar bilan to'ldirilsa, har ikkala shakldagi tenglamalar matematikaviy ekvivalentlikka erishadilar. Mexanikada N'yuton qonunlari qanday rol o'ynasa, Maksvell tenglamalari ham elektromagnetizmda xuddi shunday rolni o'ynaydi. Bu nazariyaga ko'ra, elektr va magnit maydonlari uzviy bog'liq bo'lib, ular o'zaro birlashib yaxlit elektromagnit maydonini hosil qiladilar.

Mustaqil ta'limda o'rganish uchun material

Elektromagnit maydon va uning xossalari

Maksvell tomonidan yaratilgan elektromagnit maydon nazariyasi ikki postulatga asoslanadi:

1. O'zgaruvchan magnit maydon tufayli uyurmaviy elektr maydon hosil bo'ladi.
2. O'zgaruvchan elektr maydon tufayli uyurmaviy magnit maydon vujudga keladi.



1-rasm

Birinchi postulat elektromagnit induksiya hodisasini, ikkinchi postulat esa magnitoelektrik induksiya hodisasini ifodalaydi.

Elektromagnit maydon uchun faqat Eynshteynning nisbiylik printsipli o'rinli. Maksvell tenglamalari Lorents almashtirishlariga nisbatan invariantdir. Ularning ko'rinishi barcha inertsiyal sanoq sistemalarida bir xil bo'ladi. Bu nazariyaga asoslanib, Maksvell elektromagnit to'lqinlar mavjud bo'lishini ko'rsatib berdi. (1-rasm)

Fazoda chekli tezlik bilan tarqaluvchi o'zgaruvchan elektromagnit maydon **elektromagnit to'lqin** deyiladi. Keyinchalik, vakuumda erkin elektromagnit to'lqinning yorug'lik tezligi $s=3 \cdot 10^8$ m/s bilan tarqalishi isbotlandi.

Maksvell tenglamalarini tahlildan o'tkazib uning quyidagi xossalari aniqlaymiz:

1) Maksvell tenglamalari chiziqli bog'lanishga ega. Bu xossa superpozitsiya printsipli bilan to'g'ridan-to'g'ri bog'liq hisoblanadi.

2) Maksvell tenglamalari o'zida zaryadning saqlanish qonuni ifodalaydi:

$$\partial \rho / \partial t + \partial j / \partial r = 0$$

3) Maksvell tenglamalaridan har bir elektromagnit maydon skalyar va vektor potentsiallar orqali ifodalanishi mumkinligi kelib chiqadi:

$$\vec{E} = -\partial \varphi / \partial r - \partial \vec{A} / \partial t$$

$$\vec{B} = [\partial / \partial r A]$$

4) Potentsiallar uchun Lorents kalibrovkasi quyidagi ko'rinishni egallaydi:

$$\Delta \varphi = (-1/\epsilon_0) \rho$$

$$\epsilon \vec{A} = -1/(\epsilon_0 s^2) \vec{j}$$

bunda $\Delta = \Delta - (1/c^2) \cdot (\partial^2 / \partial t^2)$ D'alamber operatori

5) Maksvell tenglamalaridan quyidagi muhim xulosa kelib chiqadi:

Elektromagnit maydoni elektr zaryadi va yoki elektr tokisiz ham mustaqil holda mavjud bo'lish qobiliyatiga ega. Bunda uning holat o'zgarishi albatta to'lqin harakteriga ega bo'ladi. U vakuumda yorug'lik tezligi bilan tarqaluvchi elektromagnit to'lqin sifatida vujudga keladi.

6) Elektromagnit maydonga faqat Eynshteynning nisbiylik printsiplarini qo'llash mumkin. Buning uchun elektromagnit maydonning barcha sanoq sistemalarida birday tezlik bilan tarqalishini eslash kifoya qiladi.

Sinov savollari

1. Uyurmali elektr maydon hosil bo'lishining sababi nimada? U elektrostatik 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?
8. Nima sababdan doimiy elektr va magnit maydonlarini bir-biridan mustaqil holda qarash mumkin? Ular uchun Maksvell tenglamalarining ikkala shaklini yozib bering?
9. Nima sababdan Maksvell tenglamalarining integral shakli umumiyroq hisoblanadi?
10. Maksvell nazariyasi asosida qanday xulosalar qilish mumkin?

11-Ma'ruza rejasi.

- Kirish.
- Elektromagnit tebranishlar.
- Tebranishlar konturi. Erkin garmonik tebranishlar.
- Tomson formulasi.
- **Mustaqil ta'lim**
- So'navchi va majburiy elektromagnit tebranishlarning differentsial tenglamalari.
- Rezonans hodisalari.

- O'zgaruvchan tok zanjiridagi rezonanslar.
- O'tkazuvchan tok zanjirida ajraladigan quvvat

Elektromagnit tebranishlar

Agar biror fizik kattalik vaqt bo'yicha sinus yoki kosinus qonuniga muvofiq tarzda o'zgarsa, mazkur jarayonni **garmonik tebranish** deb aytiladi. Uning differentsial tenglamasi quyidagi umumiy ko'rinishga ega:

$$\ddot{x} + \omega_0^2 x = 0$$

bunda $x(t)$ -turli garmonik ostsillyatorlardagi mos kattalik muvozanatdan chetlashishi xarakteristikasi, ω_0 -**tsiklik** yoki **doiraviy chastota** bo'lib, u ostsillyatorning xarakteristikasi bilan bog'liq bo'ladi.

Garmonik tebranish tenglamasining echimini topamiz:

$$x(t) = A \cos \varphi(t) = A \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$$

yoki
$$x(t) = A \cos(2\pi \nu t + \varphi_0) = A \cos\left(\frac{2\pi}{T} t + \varphi_0\right)$$

bunda A -**amplituda**, $\varphi(t) = \omega_0 t + \varphi_0$ - **faza**, φ_0 - **boshlang'ich faza**, $x(t)$ -**o'zgaruvchan kattalikning t vaqtga mos tushuvchi oniy qiymati**.

T va ν -mos holda **tebranishning davri va chastotasi**.

$$|\cos \varphi(t)| \leq 1$$

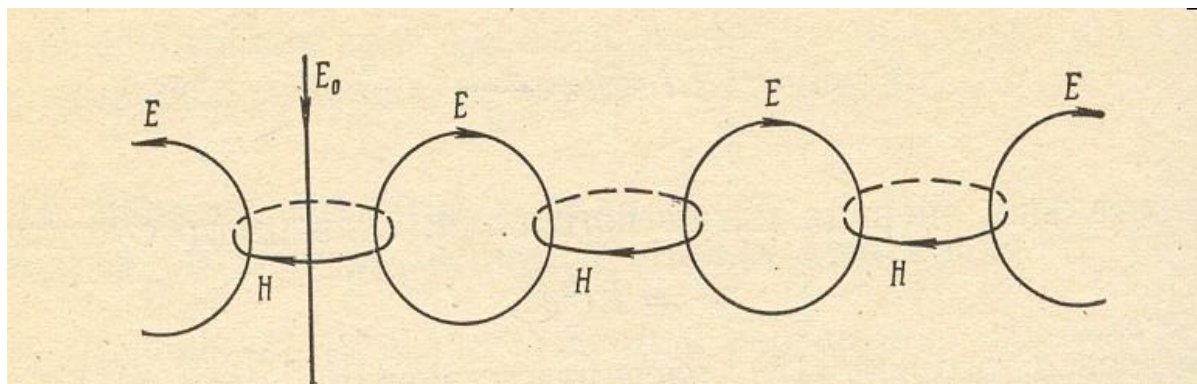
bo'lgani uchun $|x| \leq A$ bo'ladi.

Ma'lumki, fazoning biror qismida o'zaro tik (bir-biriga nisbatan perpendikulyar) joylashgan, ikki tekislikda o'zgaruvchan uyurmaviy elektr va magnit maydonlarining ayni bir vaqtda mavjud bo'lishi elektromagnit maydonni hosil qiladi.

Elektromagnit maydon tabiatda mavjud bo'lgan maydonlardan biridir. Ayrim holdagi elektr va magnit maydonlar esa uning xususiy holi hisoblanadilar.

Turli elektr hodisalari orasida elektromagnit tebranishlar alohida o'rin egallaydi. Bunda elektrik kattaliklar (zaryad, tok) ning davriy, garmonik tebranishi va uning oqibatida elektr hamda magnit maydonlarining bir-biriga o'zaro almashinib borishi kuzatiladi.

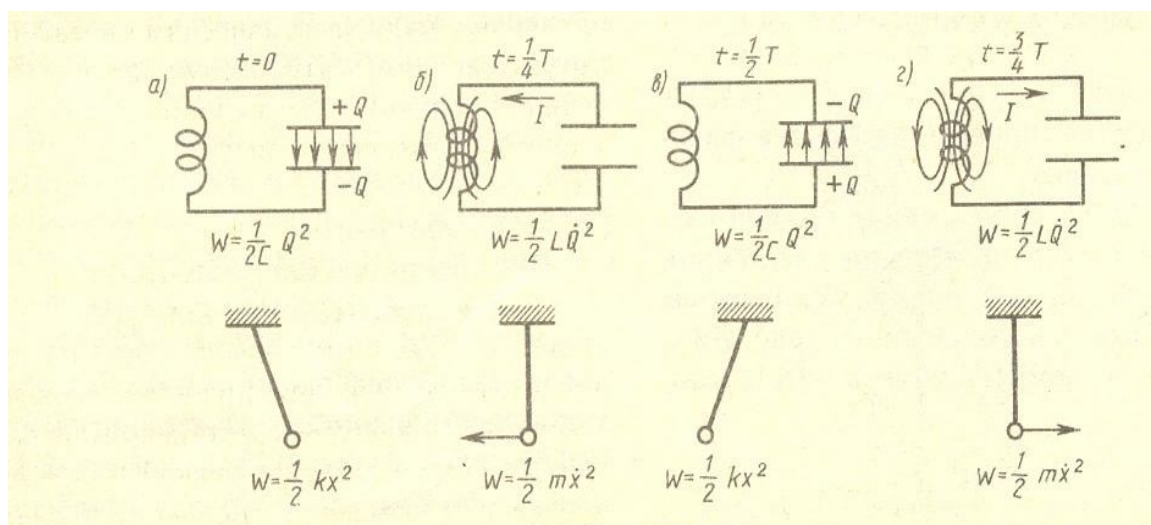
Ravshanki, bu jarayonda elektr va magnit maydon energiyalari ham o'zaro almashinadi hamda fazoning ma'lum bir yo'nalishi bo'ylab uzatiladi.



1-rasm

Tebranish konturidagi erkin, garmonik tebranishlar

Elektromagnit tebranishlarini hosil qilish va uning doimiy mavjud bo'lishini ta'minlash uchun tebranish konturidan foydalanamiz. Bu elektr zanjiri o'zaro ketma-ket ulangan L induktivli g'altak, S sig'imli kondensator va R qarshilikli rezistordan tashkil topadi. Qarshiligi e'tiborga olmaslik darajasida kichik ($R \approx 0$) bo'lgan ideal konturda hosil bo'luvchi tebranish jarayoni bosqichlarini ko'rib chiqaylik. Konturda tebranish hosil qilish uchun, kondensator qoplamalariga $\pm Q$ zaryad beramiz. Shunda, vaqtning boshlang'ich momenti $t=0$ da kondensator qoplamalari orasida energiyasi $\frac{1}{2C}Q^2$ ga teng bo'luvchi elektr maydon vujudga keladi (2a-rasm).



2-rasm

Agar induktivlik g'altakka kondensator ulansa, u zaryadsizlana boshlaydi va konturdan vaqt bo'yicha o'sib boruvchi I tok oqib o'tadi. Natijada elektr maydon energiyasi kamayib, g'altakning magnit maydon energiyasi $\left(\frac{1}{2}L\dot{Q}^2\right)$ ga teng) oshadi.

$R \approx 0$ bo'lgani uchun bu jarayonda issiqlik ajralib chiqishiga energiya sarflanmaydi. Energiyaning saqlanish qonuniga ko'ra to'la energiya quyidagicha ifodalanadi:

$$W = \frac{1}{2C}Q^2 + \frac{1}{2}L\dot{Q}^2 = const$$

Vaqtning $t = \frac{1}{4}T$ momentida kondensator to'la zaryadlanadi, elektr maydon energiyasi nolga aylanib, magnit energiyasi (shuningdek tok ham) o'zining eng katta qiymatiga erishdi (2b-rasm). Shu ondan boshlab, konturdagi tok va unga mos keluvchi magnit maydon kamayadi. Oqibatda, konturdan Lents qoidasiga ko'ra, induktsiyalanadigan tok ham oqib o'tadi. Kondensator qaytadan zaryadlanib boshlaydi, hosil bo'luvchi elektr maydoni esa konturdagi tokni nolgacha kamaytiradi. Kondensator qoplamalaridagi zaryad maksimumga erishadi (2v-rasm). Keyin esa ayni shu jarayonlar teskari yo'nalishda sodir bo'ladi (2g-rasm) va tizim $t=T$ momentida o'zining dastlabki holatiga qaytadi. Shundan so'ng kondensatorning zaryadlanish va razryadlanish tsikli yana qaytadan takrorlanadi. Agar energiya sarfi bo'lmaganda edi, konturda so'nmaydigan davriy tebranishlar sodir bo'lar edi. Bunda kondensator qoplamalaridagi Q zaryad, kondensatordagi U kuchlanish va g'altakdan o'tuvchi I tok kuchining tebranishlari nazarda tutilgan. Bu jarayonlarni umumiy holda elektr va magnit maydon energiyalarining bir – biriga aylanishidan iborat bo'luvchi elektrik tebranishlar deb qarash mumkin.

Tebranish konturidagi elektrik tebranishlarni mayatnikning mexanik tebranishlar bilan taqqoslash mumkin. (2-rasm). Bu holda, kondensator elektr energiyasi $\left(\frac{Q^2}{2C}\right)$ ni prujinali mayatnikning potentsial energiyasi $\left(\frac{kx^2}{2}\right)$ ga,

g'altakning magnit energiyasi $\left(\frac{L\dot{Q}^2}{2}\right)$ ni mayatnikning kinetik energiyasiga,

konturdagi tok kuchini esa mayatnikning harakat tezligiga qiyoslash mumkin. L induktivlik m massa rolini, konturning qarshiligi esa mayatnikka ta'sir etuvchi ishqalanish kuchi rolini o'taydi.

L induktivli g'altak, S sig'imi kondensator va R qarshilikli rezistordan tashkil topgan kontur uchun Om qonunini qo'llaymiz:

$IR + U_c = \varepsilon_s$, bunda IR rezistordagi kuchlanish, $U_c = Q/C$ - esa kondensatordagi kuchlanish, $\varepsilon_s = -L\frac{dI}{dt}$ o'zinduksiya E.YU.K i bo'lib, u g'altakdan o'zgaruvchan tok o'tganida hosil bo'ladi. YUqoridagilarni e'tiborga olsak: $L\frac{dI}{dt} + IR + \frac{Q}{C} = 0$ Uni L ga bo'lib, $I = \dot{Q}$, $dI/dt = \ddot{Q}$ ifodalarini kiritsak, konturdagi Q zaryad tebranishlarning differentsial tenglamasini hosil qilamiz:

$$\ddot{Q} + \frac{R}{L}\dot{Q} + \frac{1}{LC}Q = 0$$

Mazkur konturda tashqi EYUK mavjud bo'lmaganligi tufayli undagi tebranishlar erkin tebranishlar hisoblanadi. Agar $R=0$ bo'lsa, konturdagi elektromagnit tebranishlarni garmonik tebranish deb qarash mumkin. Unda konturda erkin garmonik tebranayotgan zaryadning differentsial tenglamasi quyidagi ko'rinishga keladi:

$$\ddot{Q} + \frac{1}{LC}Q = 0$$

Uning echimi Q zaryadning qanday qonunga muvofiq garmonik tebranishni ifodalaydi:

$$Q = Q_0 \cos(\omega_0 t + \gamma)$$

Bunda Q_0 - kondensatorda ω_0 chastota bilan tebranayotgan zaryadning amplituda qiymati, $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ - konturning xususiy tebranish chastotasi deyiladi.

Undan foydalanib tebranish davrini aniqlaymiz:

$$T = 2\pi\sqrt{LC}$$

Bu ifoda **Tomson formulasi** deb yuritiladi. Tebranish konturidagi tok kuchi quyidagicha o'zgaradi:

$$I = \dot{Q} = -\omega_0 Q_m \sin(\omega_0 t + \varphi) = I_m \cos\left(\omega_0 t + \varphi + \frac{\pi}{2}\right)$$

Bunda $I_m = \omega_0 Q_m$ tok kuchining amplitudasi. Kondensatordagi kuchlanishning o'zgarish qonuni:

$$U_s = \frac{Q}{C} = \frac{Q_m}{C} \cos(\omega_0 t + \varphi) = U_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$$

Bunda $U_m = Q_m / C$ kuchlanish amplitudasi.

Demak, yuqoridagi formulalarga binoan I tokning tebranish fazasi Q zaryadning tebranish fazasidan $\pi/2$ miqdorga oldinda bo'lar ekan, ya'ni $I=I_m$ bo'lsa, $Q (U \text{ ham})=0$ bo'ladi va yoki aksincha.

Mustaqil ta'limda o'rganish uchun material

So'nuvchi va majburiy elektromagnit tebranishlarning differentsial tenglamalari. Rezonans hodisalari.

O'zgaruvchan tok zanjiridagi rezonanslar.

O'tkazuvchan tok zanjirida ajraladigan quvvat

Elektromagnit tebranishlarning so'nish tezligini aniqlash maqsadida **so'nishning logarifmik dekrementi** degan kattalik kiritiladi.

$$\theta = \ln \frac{Q_0 e^{-\delta t}}{Q_0 e^{-\delta(t+T)}} = \delta T = R\pi \sqrt{\frac{C}{L}}$$

ya'ni ketma – ket kelgan va bir – biridan bir davrga farq qiladigan ikki amplitudaning nisbatidan olingan logarifmni **so'nishning logarifmik dekrementi** deyiladi. Aktiv qarshilik oshgan sari konturdagi elektromagnit tebranishlarning so'nishi tezlashadi. *So'nishning logarifmik dekrementiga teskari bo'lgan kattalik tebranish amplitudasining e marta kamayishi uchun lozim bo'lgan tebranishlar sonini ko'rsatadi.*

$$N_e = \frac{1}{\theta} = \frac{1}{R\pi} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Tebranish konturining aslligi

$$A = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} = \pi \cdot N_e$$

So'nuvchi va majburiy elektromagnit tebranishlarning differentsial tenglamalari

Konturdagi ($R \neq 0$, holdida) zaryadning erkin so'nuvchi tebranishlari differentsial tenglamasi quyidagicha ifodalanadi:

$$\ddot{Q} + \frac{R}{L} \dot{Q} + \frac{1}{LC} Q = 0$$

$R/(2L) = \delta$ - **so'nish koeffitsienti** deb olib, tenglamaning ko'rinishini o'zgartirish mumkin:

$$\ddot{Q} + 2\delta \dot{Q} + \omega_0^2 Q = 0$$

Uning echimini aniqlaymiz:

$$Q = Q_m e^{-\delta t} \cos(\omega t + \varphi).$$

Tebranishlarning ω tsiklik chastotasi konturning ω_0 xususiy chastotasidan kichik bo'ladi:

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}$$

So'nish koeffitsienti δ ning oshishi bilan tebranish davri ham ortadi, $\delta = \omega_0$ da esa cheksizlikka aylanadi, ya'ni harakat davriy bo'lmay qoladi. Bunday holda tebranuvchi miqdor asimtatik ravishda nolga yaqinlashadi, shunda $t \rightarrow \infty$. jarayonni tebranuvchan deb qarab bo'lmaydi.

Texnika uchun so'nmaydigan tebranishlarni hosil qilish imkoniyatlari ayniqsa katta ahamiyatga kasb etadi. Buning uchun real tebranish tizimining energiya sarfini doimiy tarzda qoplash lozim. Avtotebranishlar shu tizimga taalluqlidir. U tashqi, doimiy energiya manbai hisobiga so'nmas tebranishlar hosil qiladi.

Avtotebranishlar erkin, so'nmas tebranishlar va majburiy tebranishlardan shunisi bilan printsipial farq qiladi.

Avtotebranishli sistema unga berilayotgan energiyani ma'lum bir portsiya tarzida va kerakli paytda qabul qilish orqali tashqi ta'sirlarni o'zi mutanosiblab boshqaradi.

Soat avtotebranishli tizimga misol bo'la oladi. Uning mos mexanizmi mayatnikni tebranish ohangiga qarab surib turadi.

Bu holda mayatnikka uzatilayotgan energiya yo buralgan prujina va yoki pastga tushadigan yuk energiyasi hisobiga amalga oshiriladi.

Ichki yonuv dvigateli, bug' trubinalari, lampali generatorlar ham avtotebranishli tizimga kiradi.

Elektr tebranish konturida hosil bo'luvchi **majburiy elektromagnit tebranishlarning differentsial tenglamasi** quyidagi ko'rinishga ega:

$$\ddot{Q} + \frac{R}{L}\dot{Q} + \frac{1}{LC}Q = \frac{U_m}{L}\cos\omega t$$

yoki

$$\ddot{Q} + 2\delta\dot{Q} + \omega_0^2 Q = \left(\frac{U_m}{L}\right)\cos\omega t$$

bunda $U = U_m \cos\omega t$ - davriy ravishda garmonik qonun bilan o'zgaruvchi EYUK yoki o'zgaruvchan kuchlanish. Differentsial tenglamaning echimini topamiz.

$$Q = Q_m \cos(\omega t - \alpha)$$

bunda

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_m = \frac{U_m}{\omega \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} \\ \operatorname{tg} \alpha = \frac{R}{\frac{1}{\omega C} - \omega L} \end{array} \right.$$

Konturdagi zaryad tebranishlar tenglamasini differentsiallab, mavjud tebranishlar uchun I tokning vaqt bo'yicha o'zgarishini aniqlaymiz.

$$I = -\omega Q_m \sin(\omega t - \alpha) = I_m \cos\left(\omega t - \alpha + \frac{\pi}{2}\right)$$

bunda

$$I_m = \omega Q_m = \frac{U_M}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$

YUqoridagi tenglamani quyidagicha yozish mumkin:

$$I = I_m \cos(\omega t - \varphi)$$

bunda $\varphi = \alpha - \frac{\pi}{2}$ - qo'yilgan kuchlanish va tok orasidagi faza farqi. Keltirish

formulasidan ma'lumki: $\operatorname{tg}\varphi = \operatorname{tg}(\alpha - \pi/2) = -\frac{1}{\operatorname{tg}\alpha}$,

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}.$$

Agar $\omega L > 1/(\omega C)$ bo'lsa $\varphi > 0$, ya'ni tok kuchlanishda faza bo'yicha orqada qoladi, aksincha bo'lsa oldinda bo'ladi.

Rezonans hodisalari

Majburiy tebranishlar amplitudasining tebranish chastotasiga bog'liqligini ko'rib o'tamiz:

$$Q = \frac{Q_0}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2) + 4\delta^2 \omega^2}}$$

Bu ifodani ω bo'yicha differentsiallaymiz. Uni nolga tenglashtirib tenglama tuzamiz va uning echimi bo'lgan ω_{pe3} ni aniqlaymiz:

$$-4(\omega_0^2 - \omega^2)\omega + 8\delta^2 \omega = 0$$

Bu tenglik $\omega = 0$ bo'lganida o'rinli bo'ladi.

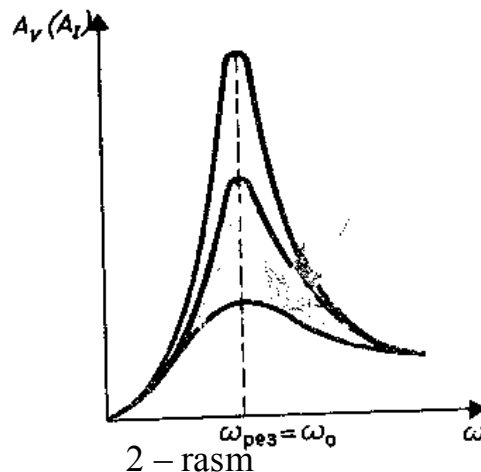
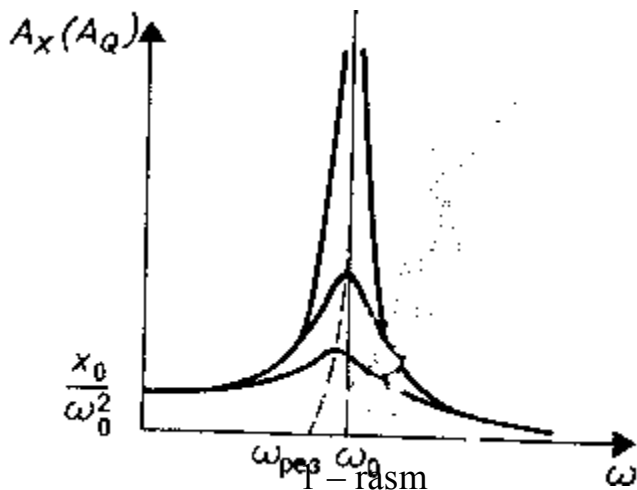
$$\omega_{pe3} = \pm \sqrt{\omega_0^2 - 2\delta^2}$$

Lekin uning faqat musbat qiymatigina fizik ma'noga ega bo'ladi.

Majburiy o'zgaruvchan kuchlanish chastotasining rezonans chastotasiga yaqinlashganida konturdagi zaryad (tok) amplitudasining keskin oshib ketish hodisasiga **elektrik rezonans** deyiladi. $\delta^2 \ll \omega_0^2$ bo'lganida ω_{pe3} amalda tebranuvchi sistemaning xususiy chastotasi ω_0 ga teng bo'ladi. Shunda quyidagiga ega bo'ladi:

$$Q_{pe3} = \frac{Q_0}{2\delta \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}}$$

1 – rasmda δ ning turli qiymatlari uchun majburiy tebranishlar amplitudaning chastotaga bog'lanishi ko'rsatilgan.



δ qanchalik bo'lsa mazkur egri chiziqning maksimumi shunchalik baland va o'ngroqda joylashgan bo'ladi. Agar $\omega \rightarrow 0$, unda barcha chiziqlar noldan farqli bir xil qiymat $U_m/(L\omega_0^2)$ ga keladi. Uni statistik chetlashish deb ataladi. Agar $\omega \rightarrow \infty$, unda barcha chiziqlar asimtotik ravishda nolga intiladi. Ko'rib o'tilgan egri chiziqlar to'plami rezonans chiziqlari deb yuritiladi.

2 - rasmda tok amplitudasi uchun rezonans egri chiziqlari keltirilgan tok amplitudasi:

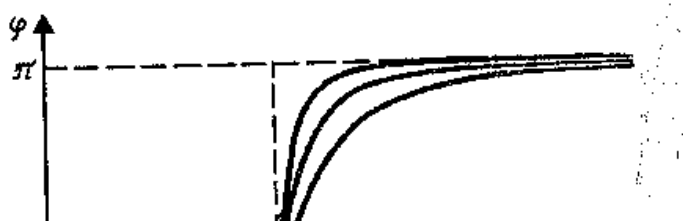
$$I = \omega Q = \frac{Q_0 \omega}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2) + 4\delta^2 \omega^2}} = \frac{Q_0}{\sqrt{\frac{(\omega_0^2 - \omega^2)^2}{\omega^2} + 4\delta^2}}$$

$\omega_{pes} = \omega_0$ bo'lganida maksimal qiymat $Q_0/(2\delta)$ ga teng bo'ladi, so'nish koefitsient δ qanchalik katta bo'lsa, rezonans chizig'ining maksimumi shunchalik past bo'ladi

$$I_{max} = \frac{Q_0}{(2\delta)} = \frac{U_m}{R}$$

$tg \varphi = \frac{2\delta\omega}{(\omega_0^2 - \omega^2)}$ ifodadan agar sistemada so'nish mavjud bo'lmasa ($\delta = 0$)

faqat shunda tebranish va ulangan o'zgaruvchan kuchlanish bir xil fazaga ega bo'lishi ayon bo'ladi. Boshqa barcha hollarda esa $\varphi \neq 0$. Turli so'nish koefitsientlari δ uchun φ ning ω ga bog'liqlik grafigi 3 - rasmda berilgan.



3 – rasm

Undan esa ω o'zgarishi bilan faza siljishi φ ning ham o'zgarishi kelib chiqadi. $\varphi = \arctg \frac{2\delta\omega}{\omega_0^2 - \omega^2}$ formuladan $\omega = 0$ bo'lganda $\varphi = 0$ bo'lishini ko'rish mumkin. Agar $\omega = \omega_0$ da esa so'nish koeffitsientining qiymatidan qat'iy nazar $\delta\varphi = \pi/2$, ya'ni kuchlanish tebranishdan $\pi/2$ faza oldinroq yuradi. ω ni yanayam oshirsak ω ham ortadi, $\omega \gg \omega_0$ bo'lganda $\varphi \rightarrow \pi$, ya'ni kuchlanish va tebranish deyarli teskari fazalarda bo'ladi. 3 – rasmda keltirilgan egri chiziqlar fazaviy rezonans chiziqlari deb aytiladi.

Rezonans hodisasining salbiy va ijobiy tomonlari mavjud. Agar $\omega = \omega_0$ bo'lsa, mashina va uskunalar ishdan chiqishi mumkin. Boshqa tomondan uning yordamida juda kuchsiz tebranishlarni ilg'ab olish mumkin. Radiotexnika, amaliy akustika, elektrotexnika rezonans hodisasidan ana shunday tarzda foydalanadi.

O'zgaruvchan tok zanjiridagi rezonanslar

Rezistor, induktivlik g'altagi va kondensatordan tashkil topuvchi zanjirga $U = U_m \cos \omega t$ o'zgaruvchan kuchlanish qo'yilgan bo'lsin. Unda yuz beradigan jarayonlarni ko'rib chiqamiz.

1. R rezistor qarshiligidan o'tuvchi o'zgaruvchan tok ($L \rightarrow 0, C \rightarrow 0$) (4 – rasm). Kvazistatsionarlik sharti (ya'ni, tok kuchining rniy qiymati o'tkazgich kesimining barcha nuqtalarida amalda bir xil bo'lishi) bajarilsa rezistordagi tok uchun Om qonuni bajariladi.

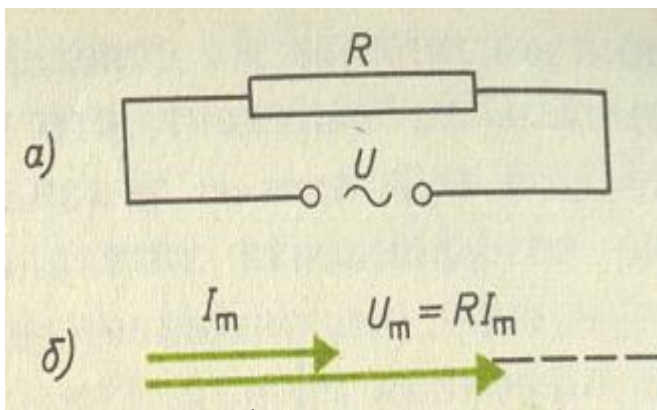
$$I = \frac{U}{R} = \left(\frac{U_m}{R} \right) \cos \omega t = I_m \cos \omega t$$

bunda $I_m = \frac{U_m}{R}$ - tok kuchining amplitudasi

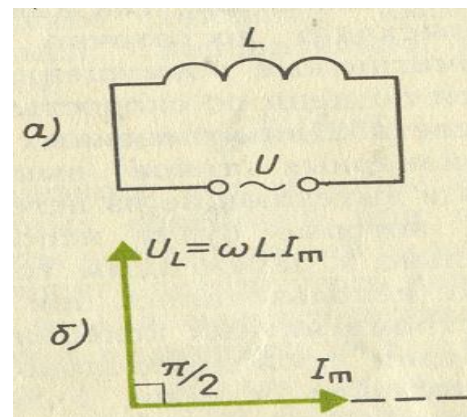
I_m va U_m orasidagi faza siljishi nolga teng.

2. L induktivlik g'altigidan o'tuvchi o'zgaruvchan tok ($R \rightarrow 0, C \rightarrow 0$) (5 - rasm). Agar zanjirga o'zgaruvchan kuchlanish qo'yilsa, unda o'zgaruvchan tok oqadi. Natijada o'zinduksiya EYUK hosil bo'ladi:

$$\varepsilon_s = -L \frac{dI}{dt}$$



4 - rasm



5 - rasm

Unda zanjirning ko'rilayotgan qismi uchun Om qonuni quyidagi ko'rinishni oladi:

$$U_m \cos \omega t - L \frac{dI}{dt} = 0$$

bunda

$$L \frac{dI}{dt} = U_m \cos \omega t$$

Tashqi kuchlanish g'altakka qo'yilgani uchun:

$$U_L = L \frac{dI}{dt}$$

kuchlanish unga tushadi.

$$dI = \left(\frac{U_m}{L} \right) \cos \omega t dt$$

Uni differentsiallab quyidagini olamiz.

$$I = \frac{U_m}{\omega L} \sin \omega t = \frac{U_m}{\omega L} \cos \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right)$$

yoki

$$I = I_m \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

bunda

$$I_m = \frac{U_m}{(\omega L)}$$

$R_L = \omega L$ – kattalikni induktiv qarshilik deyiladi.

YUqoridagi ifodadan agar $\omega = 0$ bo'lsa, ya'ni doimiy tokda induktivlik g'altagi qarshilikka ega bo'lmasligi ayon bo'ladi.

$$U_L = \omega L I_m \cos \omega t$$

U_L va I orasida $\pi/2$ faza siljishi mavjud (ya'ni U_L I dan faza bo'yicha $\pi/2$ ga oldinda yuradi).

3. C sig'imli kondensatordan o'tuvchi o'zgaruvchan tok ($R \rightarrow 0, L \rightarrow 0$) (6 - rasm).

Agar kondensatorga o'zgaruvchan kuchlanish ulansa, u doimo zaryadlanib turadi.

Natijada, zanjirda o'zgaruvchan tok oqadi.

$$\frac{Q}{C} = U_C = U_m \cos \omega t$$

Tok kuchi esa:

$$I = \frac{dQ}{dt} = -\omega C U_m \sin \omega t = I_m \left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

bunda

$$I_m = \omega C U_m = \left[\frac{1}{(\omega C)} \right]$$

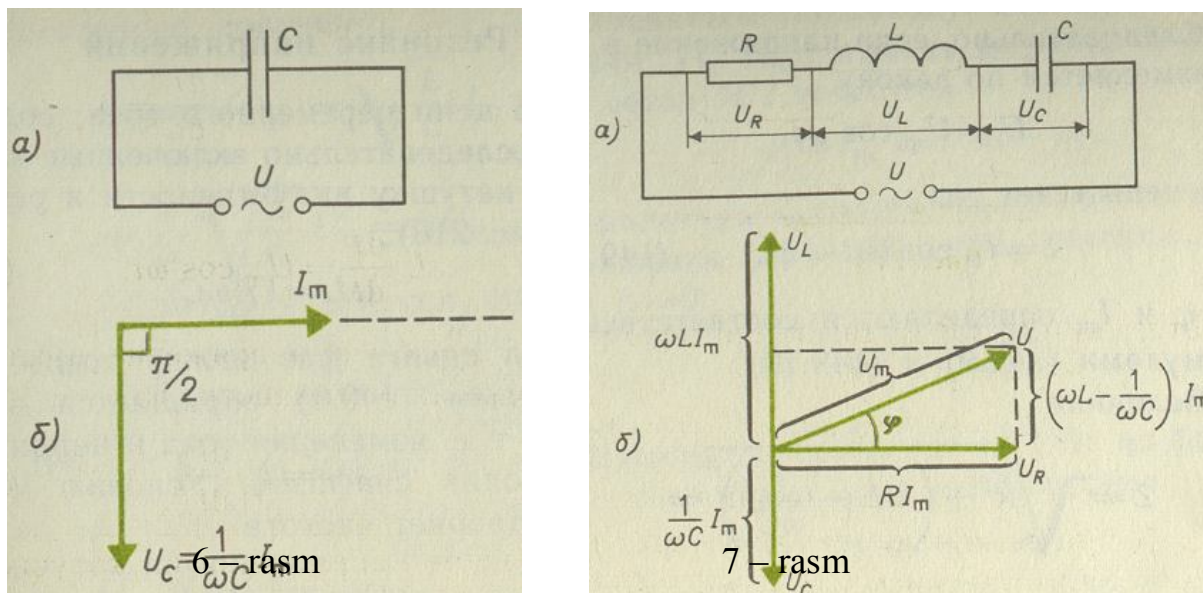
$R_C = \frac{1}{\omega C}$ – kattalik sig'im qarshiligi deyiladi. Doimiy tok uchun ($\omega > 0$)

$R_C = \infty$, ya'ni undan doimiy tok o'tmaydi.

$$U_C = \frac{1}{\omega C} I_m \cos \omega t$$

U_C kondensatordan o'tayotgan tokdan faza bo'yicha $\pi/2$ ga ortga qoladi.

4. O'zaro ketma – ket ulangan rezistor, induktivlik g'altagi va kondensatordan tashkil topgan o'zgaruvchan tok zanjiri. (7 - rasm).



Zanjirning turli uchastkalarida mos holda U_R, U_L va U_C kuchlanishlar tushadi. 7 – rasmdan foydalanib quyidagilarni aniqlaymiz:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}$$

$$I_m = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$

Albatta, agar zanjirdagi kuchlanish $U = U_m \cos \omega t$ qonun bilan o'zgarsa, unda zanjirdan $I = I_m \cos(\omega t - \varphi)$ tok oqadi. Bunday:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

Kattalikni zanjirning to'liq qarshiligi deyiladi.

$$X = R_L - R_C = \omega L - \frac{1}{\omega C}$$

kattalikni esa reaktiv qarshilik deyiladi.

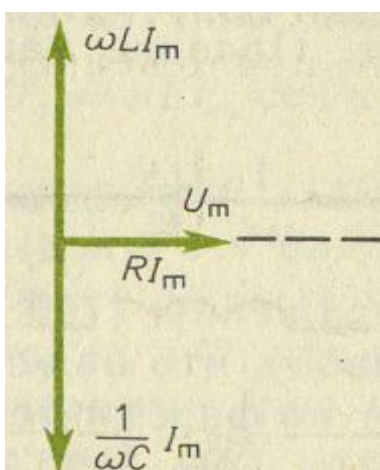
Zanjirda kondensatorning yo'q bo'lishi $C = 0$ ni emas, balki $C = \infty$ ni bildiradi.

Agar o'zaro ketma – ket ulangan kondensator, induktivlik g'altagi va rezistordan tashkil topgan o'zgaruvchan tok zanjirida $\omega L = \frac{1}{\omega C}$ shart bajarilsa, unda $\varphi = 0$, ya'ni tok bilan kuchlanish orasidagi faza siljishi yo'qoladi.

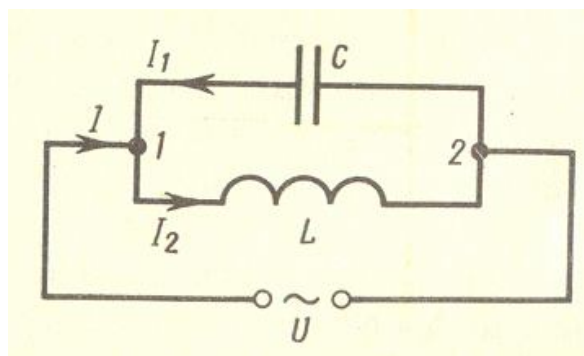
Shunda $\omega = \omega_{pe3} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ formula bilan aniqlanadi. Bu holda zanjirning to'la qarshiligi minimal qiymatga erishadi:

$$Z = R; \quad U_R = U$$

Bu hodisani kuchlanish rezonansi deyiladi. CHastotani esa mos holda rezonans chastotasi deb yuritiladi. Kuchlanish rezonansining vektor diagrammasi 8 – rasmda keltirilgan.



8 – rasm



9 - rasm

O'zaro parallel ulangan C sig'imli kondensator va L induktivli g'altakdan iborat o'zgaruvchan tok zanjirini ko'rib chiqaylik (9 - rasm). Ularning aktiv qarshiliklari juda kichik bo'lgani uchun ularni e'tiborga olmaymiz.

Agar qo'yilgan kuchlanish $U = U_m \cos \omega t$ qonun bilan o'zgarsa, zanjirning (1C2) qismidan $I = I_m \cos(\omega t - \varphi)$ tok o'tadi. $R = 0$ va $L = 0$ bo'lgani uchun uning amplitudasi $I_m = \frac{U_m}{1/(\omega C)}$ formulasi bilan

ifodalanadi. Bu tokning φ_1 boshlang'ich fazasi $\operatorname{tg}\varphi_1 = -\infty$ yoki $\varphi_1 = (2n + 3/2)\pi$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) tenglik bilan aniqlanadi.

Shunga o'xshash, zanjirning (1L2) qismidagi tok $I_2 = I_{m_2} \cos(\omega t - \varphi_2)$, amplitudasi $R = 0$ va $C = \infty$ bo'lgani uchun - $I_{m_2} = \frac{U_m}{(\omega L)}$ formulalar bilan aniqlanadi. Bu tokning φ_2 fazasi esa $\operatorname{tg}\varphi_2 = +\infty$ yoki $\varphi_2 = (2n + 1/2)\pi$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) tenglama bilan ifodalanadi

Bu ifodalarni solishtirib (IS2) va (IL2) qismlardagi tok fazalar farqi $\varphi_1 - \varphi_2 = \pi$, ya'ni ular o'zaro teskari fazalarda ekanliklarini bilish mumkin. Zanjirning tarmoqlanmagan qismidagi tok amplitudasi $I_m = |I_{m_1} - I_{m_2}| = U_m |(\omega C - 1/\omega L)|$. Agar $\omega = \omega_{pe3} = 1/\sqrt{LC}$ bo'lsa, unda $I_{m_1} = I_{m_2}$ va $I = 0$ bo'ladi. Bu hodisani tok rezonansi deyiladi. Unda zanjirdagi tok minimal qiymatga erishadi.

O'zgaruvchan tok zanjirida ajraladigan quvvat

O'zgaruvchan tokning oniy quvvati quyidagiga teng: $P(t) = U(t)I(t)$ Bunda $U(t) = U_m \cos \omega t$, $I(t) = I_m \cos(\omega t - \varphi)$. Shularni e'tiborga olib $P(t) = I_m U_m \cos(\omega t - \varphi) = I_m U_m (\cos^2 \omega t \cos \varphi + \sin \omega t \cos \omega t \sin \varphi)$ Ma'lumki, quvvatning oniy qiymati emas, balki uning tebranish davridagi o'rtacha qiymati amaliyot uchun muhim hisoblanadi. $\langle \cos^2 \omega t \rangle = 1/2$ va $\langle \sin \omega t \cdot \cos \omega t \rangle = 0$ ekanligini e'tiborga olinsa:

$$\langle P \rangle = \frac{1}{2} I_m U_m \cos \varphi$$

qiymatga ega bo'lamiz. Vektor diagrammadan $U_m \cos \varphi = RI_m$ ekanligini bilamiz. Shuning uchun:

$$\langle P \rangle = \frac{1}{2} RI_m^2$$

Lekin bunday quvvatni $I = I_m / \sqrt{2}$ o'zgarmas tok ham hosil qila oladi. $I = I_m / \sqrt{2}$ va $U = U_m / \sqrt{2}$ miqdorlarni mos holda tok va

kuchlanishning effektiv qiymati deyiladi. Barcha ampermetrlar va vol'tmetrlar shunga moslab graduirovka qilinadi.

YUqoridagilarni e'tiborga olib, o'rtacha quvvatni quyidagi yakuniy formula bilan ifodalaymiz:

$$\langle P \rangle = IU \cos \varphi$$

bunda $\cos \varphi$ – quvvat koeffitsienti deb ataladi.

1) Agar zanjirda reaktiv qarshilik mavjud bo'lmasa, ya'ni $X = 0$, bo'lsa unda $\cos \varphi = 1$, $P = IU$

2) Agar zanjirda faqat reaktiv qarshilik mavjud bo'lsa, ya'ni $R = 0$ bo'lsa unda $\cos \varphi = 0$, $P = 0$ bo'ladi.

Sanoat qurilmalari uchun $\cos \varphi$ ning eng kichik qiymati 0.85 ni tashkil etadi.

Sinov savollari

1. So'navchi tebranishlarning differentsial tenglamasini va uning echimini yozing.
2. So'navchi tebranish amplitudasi qanday qonun bilan o'zgaradi?
3. So'nish koeffitsienti nimani anglatadi?
4. Majburiy elektromagnit tebranishlarni tushuntiring.
5. Majburiy tebranishlar amplitudasi nimalarga bog'liq bo'ladi?
6. Zaryad va tok uchun rezonans egri chiziqlarni chizing va tahlil qiling.
7. Rezonansni ta'riflang. Uning ahamiyatini tushuntiring.
8. Aktiv, induktiv va sig'im qarshiliklari nimaga bog'liq?
9. O'zgaruvchan tok zanjiridagi rezonanslar haqida tushuncha bering.
10. O'zgaruvchan tok zanjiridagi quvvat nimalarga bog'liq?
11. Tebranish nima? Erkin tebranishchi?
12. Garmonik tebranish va davriy jarayonlarni tushuntirib bering?
13. Tebranish amplitudasi, fazasi, davri, chastotasi va tsiklik chastotasini ta'riflang?
14. To'g'ri chiziqli garmonik tebranishlarda siljishning amplitudasi va fazasi orasidagi bog'lanishni aniqlang?

15. Tebranish konturi erkin garmonik tebranishlar sodir bo'lganda qanday jarayonlar kuzatiladi?
16. Tebranish konturidagi erkin garmonik tebranishlarning differentsial tenglamasini yozing va uni tahlil qilib bering?
17. Tebranish konturining qaysi qismida maksimal elektr energiyasini yig'ish mumkin?
18. Maksimal magnit energiyasini tebranish konturining qaysi qismida yig'ish mumkin?
19. Tomson formulasini keltirib chiqaring va uni tahlil qilib bering?
20. Konturdagi tok va zaryadning tebranish fazalari orasidagi farq nimadan iborat?

11-Ma'ruza rejasi

- Kirish
- Elektromagnit to'lqinlarning differentsial tenglamasi
- Elektromagnit maydon va uning tarqalishi
- Elektromagnit to'lqin energiyasi va elektromagnit maydon impul'si. Umov-Poynting vektori
- Elektromagnit to'lqin va uning asosiy xossalari.

Mustaqil ta'lim

- Elektromagnit to'lqin shkalasi

Elektromagnit to'lqinlarning differentsial tenglamasi

Ma'lumki, o'zgaruvchan elektr maydoni magnit maydonini, magnit maydoni esa o'z navbatida elektr maydonini yuzaga keltiradi.

Zaryadlar yordamida o'zgaruvchan elektr yoki magnit maydoni uyg'otilsa, atrof fazoda nuqtadan nuqtaga tarqaluvchi elektr va magnit maydonlarining ketma – ketligi, o'zaro almashuvi sodir bo'ladi.

Bu jarayon fazoda ham vaqt bo'yicha davriy bo'ladi, ya'ni to'lqindan iborat bo'ladi.

Ko'rib o'tilgan tenglamalar orqali elektromagnit to'lqinlarning differentsial tenglamasini hosil qilamiz.

Kirituvchanlik doimiylari ε va μ bo'lgan bir jinsli o'tkazmas muhit uchun quyidagilar o'rinli bo'ladi.

$$\frac{\partial B}{\partial t} = \mu\mu_0 \frac{\partial H}{\partial t}, \quad \frac{\partial D}{\partial t} = \varepsilon\varepsilon_0 \frac{\partial E}{\partial t}$$

bundan $\operatorname{div} B = \mu\mu_0 \operatorname{div} H$ va $\operatorname{div} D = \varepsilon\varepsilon_0 \operatorname{div} E$

Bu kattaliklarni koordinatalar bo'yicha differentsiallab va ba'zi o'zgartirishlardan so'ng quyidagilarni yoza olamiz.

$$\Delta E = \varepsilon\varepsilon_0\mu\mu_0 \frac{\partial^2 E}{\partial t^2}$$

bundagi ΔE ni yoyib yozsak,

$$\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 E}{\partial z^2} = \varepsilon\varepsilon_0\mu\mu_0 \frac{\partial^2 E}{\partial t^2}$$

hosil bo'ladi. Bu tenglamani N ga tadbiiq qilsak,

$$\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial z^2} = \varepsilon\varepsilon_0\mu\mu_0 \frac{\partial^2 H}{\partial t^2}$$

kelib chiqadi. Bu erdagi E va N larning o'zaro ajralmas bog'lanishga ega ekanligidan

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial z^2} = \frac{1}{g^2} \frac{\partial^2 f}{\partial t^2}$$

kelib chiqadi. Bu tenglama **elektromagnit to'lqin tenglamasini** ifodalaydi.

Bundan fazoviy tezligi $g = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}} \frac{1}{\sqrt{\varepsilon\mu}}$ ga teng bo'lgan elektromagnit to'lqinlar

mavjud bo'lishi mumkinligi kelib chiqadi va uning tarqalish tezligi vakuumdagi yorug'likning tezligiga teng bo'lishi ayon bo'ladi.

$$g = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}} = \frac{1}{\sqrt{4\pi \cdot 10^{-7}}} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/c}$$

Elektromagnit maydon va uning tarqalishi.

Maksvell elektr va magnit maydonlar orasidagi bog'lanishni tekshirib elektromagnit maydon nazariyasini yaratdi.

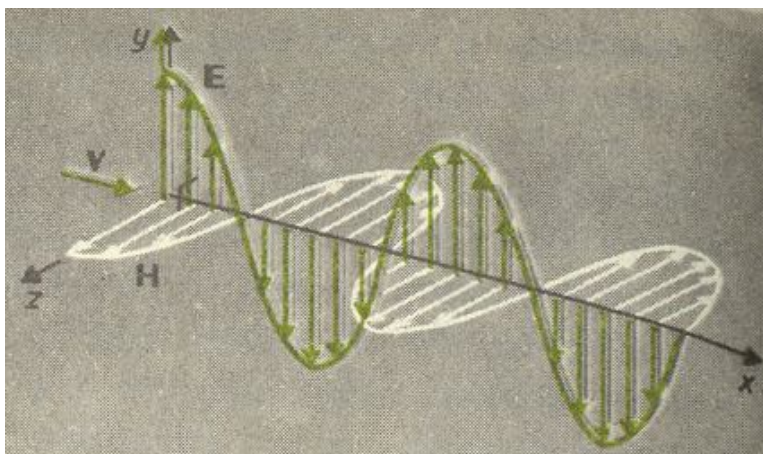
Bu nazariya quyidagi postulatlariga asoslanadi:

1. O'zgaruvchan magnit maydon tufayli uyurmaviy elektr maydon vujudga keladi.

2. O'zgaruvchan elektr maydon tufayli uyurmaviy magnit maydon vujudga keladi.

Birinchi postulat elektromagnit induksiya xodisasini, ikkinchi postulat magnitoelektrik induksiya xodisasini ifodalaydi.

Agar fazoning kichik sohasida davriy ravishda o'zgaruvchi elektr va magnit maydonlar vujudga keltirilsa, bu maydonlarning o'zgarishi boshqa sohalarda ham tarqaladi.



1-rasm

Davriy ravishda tarqaluvchi bu elektromagnit maydonning tarqalishini elektromagnit to'lqin deyiladi.

Bu sinusoidalardan biri elektr maydon kuchlanganligi vektori E ning, ikkinchisi esa magnit maydon kuchlanganligi vektori N ning tebranishlarini ifodalaydi.

Elektromagnit to'lqinning biror muhitda tarqalish tezligi

$$g = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0} \sqrt{\mu \epsilon}} \quad \text{bo'ladi.}$$

Vakuumda

$$g = c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \quad \text{bo'ladi.}$$

Bulardan foydalanib $g = \frac{c}{\sqrt{\mu \epsilon}}$ (3) ni yozamiz. Demak, elektromagnit to'lqinning muhitda tarqalish tezligi vakuumdagi tezligida $\sqrt{\mu \epsilon}$ marta kichik.

Elektromagnit to'lqin energiyasi va elektromagnit maydon impul'si

Umov-Poynting vektori

Elektromagnit to'liqin bilan birgalikda uni xarakterlovchi energiya ham tarqaladi.

Birlik hajmdagi elektromagnit maydon energiyasi

$$\varpi = \varpi_{\text{e}} + \varpi_{\text{m}} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2} + \frac{\mu\mu_0 H^2}{2}$$

Elektromagnit maydonda elektr va magnit maydonlar energiyalarining zichliklari har bir momentda birday bo'ladi.

$$\varpi_{\text{e}} = \varpi_{\text{m}}$$

Shuning uchun $\omega = 2\omega_{\text{e}} = 2\omega_{\text{m}} = \varepsilon\varepsilon_0 E^2 = \mu\mu_0 H^2$

Bundan $\sqrt{\varepsilon_0\varepsilon} E = \sqrt{\mu_0\mu} H$

Bu esa o'z navbatida $\omega = \sqrt{\varepsilon_0\mu_0\varepsilon\mu} EH$

Energiya oqimining zichligini $S = \omega \cdot \vartheta = E \cdot H$

Buning vektor ko'rinishi $\vec{S} = [\vec{E} \cdot \vec{H}]$

Bu vektor **Umov – Poynting vektori** deyiladi. Nisbiylik nazariyasiga asosan, energiyaga ega bo'lgan harakatlanuvchi materiya massaga ega bo'ladi. Bu bog'lanish

$$W = mc^2$$

orqali aniqlanadi.

Elektromagnit maydon mavjud bo'lgan fazoning birlik hajmiga W/c^2 massa to'g'ri keladi.

Harakatlanuvchi massa impul'sga ega bo'ladi, uning impul'si $\frac{W}{c^2} \cdot c = \frac{W}{c}$

bo'ladi. Bu kattalik maydon **impul'sining zichligi** deyiladi.

Elektromagnit to'liqin va uning asosiy xossalari.

Elektromagnit to'liqin (ya'ni fazoda chekli tezlik bilan tarqaluvchi elektromagnit maydon) ning mavjudligi Maksvell tenglamalaridan xulosa sifatida kelib chiqadi.

Erkin fazo (vakuum)dagi elektromagnit to'liqlarning asosiy xossalarini ko'rib chiqaylik:

- Erkin fazodagi har qanday elektromagnit to'liqin 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'liqin jarayonini–yassi monoxromatik elektromagnit to'liqinlarning superpozitsiyasi shaklida ifodalash mumkin.
- Elektromagnit to'liqinda albatta ikkita, ya'ni \vec{E} elektr va \vec{B} magnit maydonlari qatnashadi.
- Elektromagnit to'liqinlar–ko'ndalang to'liqinlar hioblanishadi. (1–rasm)
- Elektromagnit to'liqin qutblanish xossasiga ega.
- Bir sanoq sistemasidan ikkinchisiga o'tganda (agar ikkinchi birinchiga nisbatan ϑ tezlik bilan harakatlanayotgan bo'lsa) elektromagnit chastotasi va to'liqin vektori o'zgaradi. U Lorents almashtirgichlari yordamida aniqlanadi.

$$\omega = \omega' \frac{1 + (\vartheta/c) \cos \alpha'}{\sqrt{1 - (\vartheta/c)^2}}$$

Bu formula **Dopplerning elektromagnit effektini** ifodalaydi.

- Elektromagnit to'liqindagi energiya oqimining zichligi–energiya zichligi bilan quyidagicha bog'lanadi:

$$\vec{\Pi} = \vec{n} c \varpi$$

bunda $\varpi = \varepsilon_0 E^2$ - energiya zichligi, \vec{n} - birlik vektor bo'lib, u to'liqinning tarqalish yo'nalishini ko'rsatadi.

Mustaqil ta'limda o'rganish uchun material

Elektromagnit to'liqin shkalasi

Elektromagnit to'liqinlarni uzoq masofalarga taqatish va yoki ularni qabul qilib olish mumkin.

Ularni jamlab–yig'ish asosan uch yo'nalishda amalga oshirilishi mumkin:

- Antenna (qabul qilgich moslamasi) yordamida.
- Yarim o'tkazgichli qurilmalar ko'magida.
- Atom ichidagi o'zgarishlar jarayoni tufayli.

Elektromagnit to'liqinlarni mos intervallar bo'yicha klasifikatsiya qilish qabul qilingan. Ularni ko'rib chiqamiz:

1. Uzun radioto'lqin diapozoni ($10^4 - 10^2$ m).

Bu diapozon radioaloqalar uchun qo'llaniladi. Ularning asosiy kamchiligi shundan iboratki. Erning yuqori qatlamidagi ionosfera qatlami ularni yaxshi o'tkazadi, shu tufayli ularni uzoq masofalarga uzatib bo'lmaydi. Ulardan suv osti flotida samarali foydalaniladi.

2. O'rta va qisqa radioto'lqin diapozoni. ($3 \cdot 10^2 - 10$ m)

Ulardan asosan radioeshittirish uchun foydalaniladi.

- Ularni ionosfera qatlami yaxshi qaytaradi.
- Musiqa va ovozlarni sifatli uzatish uchun 20–20000 Gts chastotalar oralig'i yaratish mumkin.

3. Metrli diapozon (10–1 m)

Radio to'lqinlarning bu diapozoni televideniya va radiolokatsiya uchun ishlatiladi. Bu holda nafaqat tovushni va balkim tasvirni ham uzoq masofalarga uzatish lozim bo'ladi. Radiolokatsiya uchun esa kerakli yo'nalishda oson fokuslanadigan to'lqinlar ajratish lozim.

4. Santimetrli diapozon (1 - 10^{-2} m)

Bu diapozon to'lqinlari aviatsiyada qo'llaniladi. Ularni moddalar kuchli yutadi. Shuning uchun bu to'lqinlardan moddalarning xossalarini tekshirish uchun ham foydalaniladi.

5. Millimetrli (mikroto'lqinli) diapozon (10–1 mm)

Undan yuqori aniqlikni talab qiluvchi radiolokatsiyada va ilmiy tadqiqot ishlarida foydalaniladi.

6. Infraqizil diapozon (1 – 10^{-3} mm)

Bu diapozon ilmiy maqsadlarda aniqrog'i moddalar diagnostikasi uchun qo'llaniladi. Shuningdek infraqizil nurlar "kechki ko'rish" qurilmalari yaratish texnikasida ham foydalaniladi.

7. Yorug'lik nuri (0,38–0,76 mkm)

Bu ko'rish organlarimiz orqali qabul qilinadigan barcha ma'lumotlarni olishda foydalaniladi.

8. Ul'trabinafsha diapozoni (0,40–0,10 mkm)

Bu diapozon to'liqini moddalarga katta ta'sir ko'rsatadi. Quyoshli kunda terining qorayishi shu jumladandir.

9. Rentgen va gamma nurlanish diapozoni ($< 0,10$ mkm)

Rentgen nurlanish diapozoni meditsinda va texnikada defektoskopiya uchun keng qo'llaniladi.

Sinov savollari

1. Elektromagnit to'liqin nima? Uning tarqalish tezligi qanday?
2. Elektromagnit to'liqinining manbasi nima bo'lishi mumkin?
3. Elektromagnit to'liqin xossalari aytib bering.
4. Elektromagnit to'liqin shkalasini haqida gapiring.
5. Elektromagnit to'liqinning differentsial tenglamasini yozing.
6. Elektromagnit to'liqlarning fazoviy tezligi qanday aniqlanadi?
7. Elektromagnit to'liqinning 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.

ADABIYOTLAR

1. Savelev I.V. Umumiy fizika kursi. T.: , «O'qituvchi», 1973. t. 2
2. Ahmadjonov O. Fizika kursi. T.: «O'qituvchi», 1987. t. 3- qismlar

3. Ismoilov M., Xabibullaev P.K., Xaliullin M. Fizika kursi Toshkent «O'zbekiston», 2000
4. Nazarov O'.Q. Umumiy fizika kursi. O'zbekiston. 2002
5. Trofimova T. I. Kurs fiziki. M.: Vo`sshaya shkola, 1985
6. Gershenzon E.M., Malov N.N. Kurs obshey fiziki. “Prosvesheniye” M. 1990
8. Mir fiziki <http://Phisica.boom.ru>
9. Razdel po fiziki <http://www.edu.ru/noos/fizika>
10. Fizika jelto`e stranitso`. http://rms.pstu.ru/vp/vp_ir/data/fol/htm
11. Hauka i jizn. Jurnal. <http://nauka.rilise.ru/>.

M U N D A R I J A

1-Ma'ruza rejası: Elektr va magnetizm kursiga kirish	3
Elektr zaryadi. Elektr zaryadining saqlanish qonuni	6
Kulon qonuni (elektrostatikaning asosiy qonuni)	8
Elektrostatik maydon va uning kuchlanganligi. Maydonlar superpozitsiyasi.	9
Vakuumda elektrostatik maydonlar uchun Gauss teoremasi	10
Elektrostatik maydon potentsiali. Elektrostatik maydonda zaryadni ko'chirishda bajariladigan ish	13
Mustaqil ta'limda o'rganish uchun material. Kuchlanganlik chiziqlari.	15
Dipol maydoni	17
Maydon potentsiali va kuchlanganligi orasidagi bog'lanish. Ekvipotensial sirtlar	19
2-Ma'ruza rejası: Dielektriklar va ularning qutblanishi	22
Qutblanganlik. Dielektriklardagi elektr maydon	24
Elektrik siljish. Elektr induksiya vektori. Dielektrikda elektrostatik maydon uchun Gauss teoremasi	26
Mustaqil ta'lim uchun material. Dielektrik turlari va ularning qutblanishi	27
3-Ma'ruza rejası Elektrostatik maydonda joylashgan o'tkazgichlar.	33
Yakkalangan o'tkazgichning elektr sig'imi	35
Kondensator va uning sig'imi	36
Elektrostatik maydon energiyasi va uning hajmiy zichligi	37
Mustaqil ta'limda o'rganish uchun material Kondensatorlarni parallel va ketma-ket ulash	38
4-Ma'ruza rejası: O'zgarmas elektr toki, Elektr toki. Tok kuchi va uning zichligi	41
Tashqi kuchlar. Elektr yurituvchi kuch va kuchlanish	44
Om qonuni va uning integral hamda differentsial ko'rinishlardagi ifodasi. O'tkazgichlar qarshiligi	45
Tokning ishi va quvvati. Joule'-Lents qonuni	46
Zanjirning bir jinslimas qismi uchun Om qonuni	47
Mustaqil ta'limda o'rganish uchun material O'ta o'tkazuvchanlik hodisasi	49
Zanjirning tarmoqlangan qismi uchun Kirxgof qoidalari	50
5-Ma'ruza rejası: Elektronning metall dan chiqish ishi	53
Termoelektron emissiya hodisasi.	54

Kontakt potentsiallar farqi	57
Termoelektrik hodisalar.	59
Mustaqil ta'limda o'rganish uchun material. Metall, vakuum va gazlardagi elektr toki. Metall elektr o'tkazuvchanligining klassik elementar nazariyasi va uning asosida elektr tokining asosiy qonunlarini keltirib chiqarish.	61
Klassik nazariya kamchiliklari	65
6-Ma'ruza rejası: Gazlarning ionlashishi. Nomustaqil gaz razryadi.	66
Mustaqil gaz razryadi va uning turlari.	69
Plazma haqida tushuncha.	72
Mustaqil ta'limda o'rganish uchun material. Yarim o'tkazgichlar va ularning xossalari.	73
Yarim o'tkazgichlar o'tkazuvchanligining ikki mexanizmi.	76
Yarim o'tkazgichlarning qo'llanilishi.	78
7-Ma'ruza rejası: Magnit maydon va uning xarakteristikallari	84
Bio - Savar – Laplas qonuni va uning magnit maydonlarini hisoblash uchun qo'llanilishi.	86
Amper qonuni. Parallel toklarning o'zaro ta'sirlashuvi.	90
Harakatdagi zaryadning magnit maydoni. Lorents kuchi.	91
Magnit induksiya vektori oqimi. Magnit maydon uchun Gauss teoremasi.	93
Tokli o'tkazgichni va tokli konturni magnit maydonda ko'chirishda bajariladigan ish.	96
Mustaqil ta'limda o'rganish uchun material. Zaryadli zarrachaning magnit maydonidagi harakati. Tezlatgichlar.	97
Vakuumda, magnit maydon uchun induksiya vektorining tsirkulyatsiyasi. Xoll effekti.	102
8-Ma'ruza rejası: Elektromagnit induksiyasi hodisasi. Faradeyning qonuni	105
Magnit maydonda aylanuvchi ramka	107
Konturning induktivligi. O'zinduksiya	108
Ulash va uzish ekstratoklari	109
O'zaro induksiya, Magnit maydon energiyasi	111
Mustaqil ta'limda o'rganish uchun material Uyurmali toklar (Fuko toklari)	112
Transformator	113
9-Ma'ruza rejası: Elektron va atomning magnit momentlari.	115
Magnitlanganlik. Moddadagi magnit maydon.	117

Dinamagnetizm va paramagnetizm.	119
Ferromagnetiklar. Magnit gisterezisi. Kyuri nuqtasi.	121
Mustaqil ta'limda o'rganish uchun material Ferromagnetizmning tabiati	124
Ferritlar	126
10-Ma'ruza rejasi: Elektromagnit maydon uchun Maksvell nazariyasi asoslari, Uyurmali elektr maydon	128
Siljish toki	129
Maksvellning integral tenglamalar tizimi	133
Maksvellning differentsial tenglamalar tizimi	136
Mustaqil ta'limda o'rganish uchun material Elektromagnit maydon va uning xossalari	137
11-Ma'ruza rejasi: Elektromagnit tebranishlar	139
Tebranish konturidagi erkin, garmonik tebranishlar	141
Mustaqil ta'limda o'rganish uchun material So'nuvchi va majburiy elektromagnit tebranishlarning differentsial tenglamalari. Rezonans hodisalari. O'zgaruvchan tok zanjiridagi rezonanslar. O'tkazuvchan tok zanjirida ajraladigan quvvat	144
So'nuvchi va majburiy elektromagnit tebranishlarning differentsial tenglamalari	145
Rezonans hodisalari	147
O'zgaruvchan tok zanjiridagi rezonanslar	150
O'zgaruvchan tok zanjirida ajraladigan quvvat	155
12-Ma'ruza rejasi: Elektromagnit to'lqinlarning differentsial tenglamasi	158
Elektromagnit maydon va uning tarqalishi.	159
Elektromagnit to'lqin energiyasi va elektromagnit maydon impul'si Umov-Poynting vektori	160
Elektromagnit to'lqin va uning asosiy xossalari.	161
Mustaqil ta'limda o'rganish uchun material. Elektromagnit to'lqin shkalasi	162