

53(075.8)

Т-87.

I.G.TURSUNOV

# UMUMIY FIZIKA

53 (095.8)

T-87.

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI  
OLIIY VA O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI

TOSHKENT VILOYATI  
CHIRCHIQ DAVLAT PEDAGOGIKA INSTITUTI

I.G.TURSUNOV

**UMUMIY FIZIKA**  
**(Elektr va magnetizm)**

*O'quv qo'llanma*

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI  
OLIIY VA O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI  
TOSHKENT VILOYATI CHIRCHIQ  
DAVLAT PEDAGOGIKA INSTITUTI  
AXBOROT RESURS MARKAZI

Toshkent  
«ISHONCHLI HAMKOR»  
2021



UO'K 53(075.8)

KBK 22.3я73

T 87

O'quv qo'llanmada pedagogika instituti talabalari uchun o'quv rejaga asosan o'tiladigan umumiy fizika kursining "Elektr va magnetizm" bo'limining nazariy asoslari bayon qilingan.

**Muallif:**  
**prof.v.b. I.G.Tursunov**

**Mas'ul muharrir:**  
**prof. M.Qurbonov**

O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi-ning 2021-yil 31 maydagi 237-sonli buyrug'iga asosan o'quv qo'llanma sifatida nashrga tavsiya etilgan.

ISBN 978-9943-7092-4-9

## I. ELEKTROSTATIKA

### 1-§. Jismlarning elektrlanishi. Elektr zaryadi

XVI asrning oxirida angliyalik vrach va fizik Gilbert ipakka ishqalangan qahraboning o'ziga yengil buyumlarni tortish qobiliyati bilan bog'liq bo'lgan hodisalarni o'rganadi. Gilbert shunga doir tajribalar o'tkazib, faqat ipakka ishqalangan qahrabogina emas, balki oldindan mo'ynaga, movutga va shunga o'xshash boshqa yumshoq materiallarga ishqalangan shisha, chinni va boshqa ko'p jismlarning ham yengil buyumlarni o'ziga tortish xossasi bor ekanligini payqadi. Gilbert bu hodisani *elektrlanish* deb atagan.

Faqat ikki tur elektrlanish bo'lar ekan: *musbat* (masalan, mo'ynaga ishqalangan shishaning elektrlanishi) va *manfiy* (masalan, shishaga ishqalangan mo'ynaning elektrlanishi). Shuningdek, turli ishorali elektrlangan jismlarning o'zaro tortishishi va bir xil ishorali elektrlangan jismlarning esa o'zaro itarishadi.

Moddalarning elektrlanishi uzoq vaqtlargacha jism ichida harakatlanuvchi yoki bir jismdan ikkinchi jismga oqib o'tuvchi alohida (musbat va manfiy) elektrlangan suyuqliklar tabiati bilan tushuntirib kelingan. Faqat 1881 yildagina nemis fizigi va fiziologi Gelmgols elektr hodisalarni *elektr zaryadlangan elementar zarralarning* mavjudligi bilan tushuntiruvchi gipotezani aytdi. Keyinchalik elektronning (1897 yilda ingliz fizigi J.J.Tomson tomonidan) va protonning (1919 yilda ingliz fizigi Rezerford tomonidan) kashf etilishi munosabati bilan bu gipoteza isbotlandi. Elektronning massasi  $m = 9,1082 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ , uning zaryadi  $e = -1,60091 \cdot 10^{-19} \text{ Kl}$ . Proton musbat zaryadga ega bo'lib, kattaligi elektron zaryadiga teng, uning massasi esa elektron massasidan 1836 marta katta. Shuningdek, boshqa elementar zarralar (pozitronlar, mezonlar, neytronlar, neytrino va hokazo) ham mavjud bo'lib, ularning orasida zaryadlilari ham, neytrallari ham mavjuddir.

Barcha elementar zarralarning zaryadi kattaligi jihatdan bir xil bo'lib, elektron zaryadiga teng va elementar elektr zaryadi deb ataladi. Elementar zaryad (ma'lum bo'lgan) elektr zaryadlar ichida eng kichigidir; u o'ziga xos "elektr atomi" dir.

Elektrlangan (zaryadlangan) jismda musbat va manfiy elementar zaryadlar soni turlicha; zaryadlanmagan jismda ularning soni o'zaro teng bo'ladi.

Elektr zaryadlari erkin harakatlana oladigan jismlar o'tkazgichlar deyiladi. O'tkazgichlarni ikki xil turga ajratish mumkin. Barcha metallar birinchi tur o'tkazgichlarga kiradi. Metallarda harakatlanuvchi zaryadlar *erkin elektronlardir*; erkin elektronlarning ko'chishi bu turdagi o'tkazgichlarda hech qanday kimyoviy o'zgarishlar hosil qilmaydi. *Ikkinchi tur* o'tkazgichlarga elektrolitlar (tuzlar) kislotalar va ishqorlarning eritmaları kiradi va musbat va manfiy *ionlarning* tartibli harakatlanishi eritmada kimyoviy o'zgarishlar bo'lishiga sababchidir.

Moddada zaryadlangan zarralarning ko'chishi cheklangan (erkin elektronlari kam bo'lgan yoki ionlari deyarli bo'lmagan) jismlar *dielektriklar* yoki *izolyatorlar* deyiladi. Masalan, qahrabo, shisha, distillangan suv, spirt va shunga o'xshash bir qator moddalar dielektrikdir. *Yarim o'tkazgichlar* (selen, germaniy, kremniy, grafit va shunga o'xshashlar) o'z xususiyatlariga ko'ra oraliq holatda bo'ladilar. Ularning *elektr o'tkazuvchanligi* asosan tashqi sharoitlarga, jumladan, temperaturaga bog'liqdir.

Elektr zaryadlari biror jarayonda qatnashar ekan bir jismdan ikkinchi jismga ko'chishi yoki bir jismning o'zida qayta taqsimlanishi mumkin, biroq yo'qolishi va paydo bo'lishi mumkin emas. Boshqacha aytganda, *izolyatsiyalangan sistemada elektr zaryadlarning algebraik yig'indisi o'zgarmaydi*.

Bu qoida *elektr zaryadlarning saqlanish qonuni* deyiladi.

Elektr zaryadning (*elektr miqdorining*) o'lchov birligi, qayd qilib o'tilganidek, *Kulon (Kl)* dir. Bu birlik o'tkazgichdagi (*I*) tok kuchini o'tkazgichning ko'ndalang kesimidan o'tgan (*q*) elektr zaryadi va uning o'tish vaqti (*t*) bilan bog'lovchi munosabatdan aniqlanadi:

$$q = I t \quad (1)$$

(1) ifodaga ko'ra 1 Kl zaryad o'tkazgichning ko'ndalang kesimidan 1 sekunda 1 A tok olib o'tgan elektr zaryadiga teng:

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

Tok kuchining birligi – *Amper* XBS (Xalqaro birliklar sistemasi) da asosiy birlikdir. 1 A tok *kuchi* parallel ikki tokli o'tkazgichning o'zaro ta'siridan aniqlanadi.

## 2-§. Vakuumdagi elektr zaryadlarining o'zaro ta'siri. Elektr maydoni va uning kuchlanganligi

Elektrostatika elektr jihatdan zaryadlangan va tinch turgan jismlarning o'zaro ta'siri va muvozanat shartlarini, shuningdek bu jismlarning elektr zaryadlariga bog'liq bo'lgan xossalarini o'rganadi.

Elektrostatikaga doir birinchi miqdoriy ilmiy tadqiqotlarni 1785 yilda fransuz fizigi SH. Kulon o'tkazgan edi. Kulon tajriba yo'li bilan (buralma tarozilar yordamida) quyidagi qonunni aniqladi:

ikkita nuqtaviy zaryad vakuumda zaryadlarning va kattaliklariga to'g'ri proporsional, ular orasidagi masofa kvadrati ga teskari proporsional bo'lgan va bu zaryadlarni birlashtiruvchi to'g'ri chiziq bo'ylab yo'nalgan kuch bilan o'zaro ta'sirlashadi:

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

bu yerda *k* – proporsionallik koeffitsiyenti bo'lib, birliklarning sistemasiga bog'liq ravishda tanlanadi.

(2) formula faqat nuqtaviy zaryadlar uchunгина emas, balki chekli o'lchamdagi zaryadlangan sharlar uchun ham o'rinalidir. Bunday holda sharlarning markazlari orasidagi masofa bo'ladi. Boshqa shakldagi jismlarning o'zaro ta'sir kuchi bu jismlarning zaryadlarini tashkil qilgan barcha nuqtaviy zaryadlarning o'zaro ta'sir kuchlarini vektorlar yig'indisidan iborat.

(2) formuladagi proporsionallik koeffitsiyentini SI (XBS)da quyidagi ko'rinishda ifodalash maqsadga muvofiq (qulay):

$$k = \frac{k_0}{\epsilon_0} \text{ yoki } k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \text{ bo'lib, bunda } k_0 = \frac{1}{4\pi} \text{ deb olinadi. } (3)$$

bu yerda *k<sub>0</sub>* - proporsionallik koeffitsiyenti, *ε<sub>0</sub>* – kattalik esa elektr doimiysi (vakuumning absolyut dielektrik singdiruvchanligi)

deyiladi. Odatda  $k$  va  $\varepsilon_0$  ning qiymatlarini tajriba yo'li bilan aniqlanadi.

(3) ifodani nazarga olib, vakuumda nuqtaviy zaryadlarning o'zaro ta'siri uchun Kulon qonunini quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

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

Tajribalarda  $\varepsilon_0$  kattalikning qiymati  $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Kl}^2}{\text{N} \cdot \text{m}^2}$  ekanligi aniqlandi. XBS da  $\varepsilon_0$  ning o'lchamligini Kulon qonuni (4) dan aniqlash oson:

$$[\varepsilon_0] = \frac{[q_1][q_2]}{[F][r^2]} = \frac{\text{Kl}^2}{\text{N} \cdot \text{m}^2} = \text{m}^{-3} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{sek}^4 \cdot \text{A}^2.$$

Elektr doimiysi  $\varepsilon_0$  ning o'lchov birligi metrda Farada (F/m) deb belgilash qabul qilingan. Shunday qilib,

$$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$$

Tajribalar shuni ko'rsatdiki, bir-biridan biror masofada turgan har qanday elektr zaryadlari elektr maydoni orqali o'zaro ta'sirlashadi. Elektr zaryadlarning o'zaro ta'sir qilishiga vosita bo'lgan materiya turi elektr maydoni deyiladi. Zaryadlangan har bir jism atrofida elektr maydoni hosil qiladi. Bu maydonga qo'yilgan har bir zaryad (4) formulaga muvofiq kuch ta'siriga uchraydi. Elektr maydoni manbai zaryadlangan ionlardir.

$Q$  zaryad maydonining biror nuqtasida nuqtaviy musbat  $q_0$  zaryad—"sinash zaryadi" turgan bo'lsin. Unda ushbu zaryadga biror  $F_0$  kuch ta'sir qiladi. Biroq  $\frac{F_0}{q_0}$  nisbat sinash zaryadi kattaligiga bog'liq bo'lmaydi, u elektr maydonining xarakteristikasi bo'lib xizmat qilishi mumkin. Quyidagi

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_0}{q_0} \quad (5)$$

vektor kattalik elektr maydonning kuchlanganligi deyiladi. Shunday qilib, muayyan nuqtadagi elektr maydoni kuchlanganligi kattaligi jihatidan shu nuqtaga qo'yilgan musbat birlik zaryadga

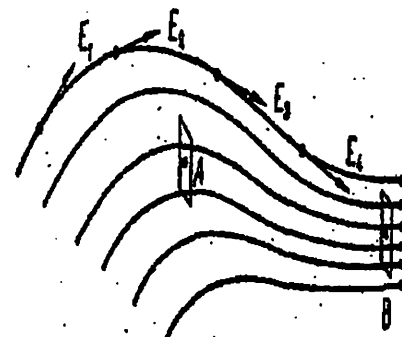
ta'sir qiluvchi kuchga teng va biz tanlagan hol uchun kuchlanganlik o'lchamlari:

$$[E] = \frac{[F]}{[q]} = \frac{[N]}{[Kl]} = \text{m} \cdot \text{kg} \cdot \text{sek}^{-3} \cdot \text{A}^{-1}.$$

$$\frac{N}{Kl} = \frac{\text{Volt}}{\text{metr}} \quad (\text{bu yerda Volt elektr maydoni potensialining o'lchov birligi}).$$

Shuning uchun elektr maydoni kuchlanganligining o'lchov birligi metrga volt (V/m) deb ataladi.

Elektr maydonini kuch chiziqlari yordamida uning yo'nalishini tasvirlash mumkin. Elektr maydonining kuch chiziqlari deb uning har bir nuqtasiga o'tkazilgan urinma kuchlanganlik vektori bilan ustma-ust tushadigan chiziqqa aytiladi (1-rasm).



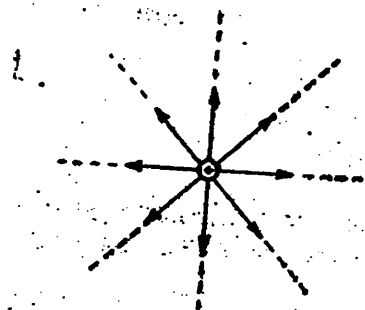
1-rasm.

Kuch chiziqlari shunday quyuqlikda chiziladiki, maydonga perpendikulyar bo'lgan tasavvur qilingan  $1\text{m}^2$  yuza orqali o'tayotgan chiziqlar soni maydonning shu yerdagi kuchlanganlik kattaligiga teng bo'lsin.

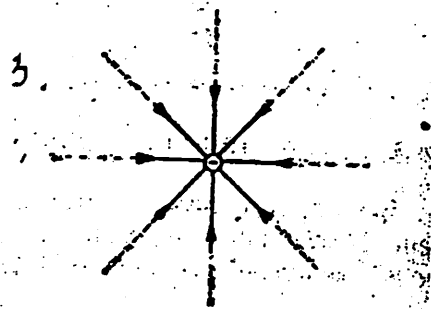
Shunday chizilganda elektr maydonining tasviriga qarab maydon kuchlanganligining faqat yo'nalishi to'g'risidagina emas, balki kattaligi haqida ham fikr yuritish mumkin. Masalan, A nuqta atrofida  $E = 2 \text{ V/m}$ , B nuqta atrofida esa  $E = 4 \text{ V/m}$  (1-rasmga qarang).

Agar elektr maydonining hamma nuqtalarida  $YE$  kuchlanganlik bir xil bo'lsa, elektr maydoni *bir jinsli* deyiladi. Aks holda esa maydon *bir jinslimas* deb qaraladi.

2- va 3-rasmlardagi musbat va manfiy nuqtaviy zaryadlarning elektr maydoni kuch chiziqlari tasvirlangan. Kuch chiziqlari nazariy jihatdan musbat zaryaddan chiqib (yoki manfiy zaryadga kirib) cheksizlikkacha yoyilib ketadi.



2-rasm.



3-rasm.

Nuqtaviy zaryad (yoki shar zaryadi)  $q$  hosil qilgan elektr maydoni kuchlanganligi kattaligi (4) va (5) formulalar orqali quyidagicha aniqlanadi:

$$E = \frac{F_0}{q_0} = \frac{q q_0}{4\pi \epsilon_0 r^2 q_0}$$

bundan

$$E = \frac{q}{4\pi \epsilon_0 r^2}, \quad (6)$$

bu yerda  $r$ —maydonni hosil qilgan zaryaddan kuchlanganlik aniqlanayotgan nuqtagacha bo'lgan masofa. Shunday qilib, nuqtaviy zaryad maydoni biror nuqtasidagi kuchlanganligi shu zaryadgacha bo'lgan masofa kvadratiga teskari proporsional ekan.

Elektr maydonida joylashgan biror (real yoki xayoliy) sirtni kesib o'tayotgan kuch chiziqlari soni maydonning shu sirt orqali o'tayotgan kuchlanganlik oqimi  $N$  deyiladi. Agar sirt kuch chiziqlariga perpendikulyar joylashib, maydon kuchlanganligi  $E$  butun sirt bo'yicha bir xil bo'lsa, kuchlanganlik oqimi

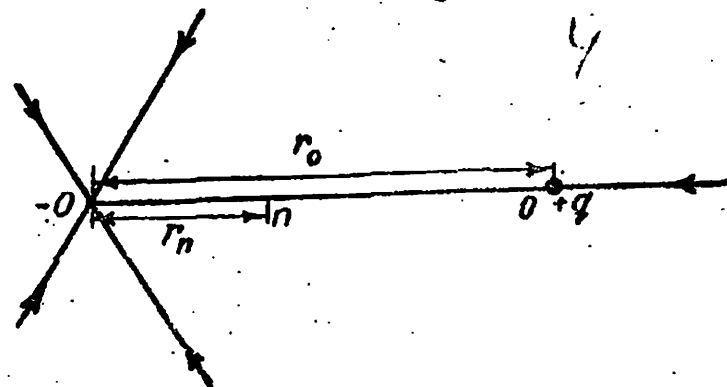
$$N = E \cdot S \quad (7)$$

bo'lishi ravshan, bu yerda  $S$ —biz tanlagan sirtning yuzi.

(7) formulaga muvofiq, elektr maydoni kuchlanganligi oqimining o'lchov birligi 1 volt·metr ( $V \cdot m$ ) bo'ladi; uning o'lchamligi —  $m^3 \cdot kg \cdot sek^{-2} \cdot A^{-1}$ .

### 3-§. Zaryadni elektr maydonida ko'chirishda bajarilgan ish. Potensial, potensiallar farqi va gradiyenti

Elektr maydonidagi har qanday zaryadga bu zaryadni harakatlantiruvchi kuch ta'sir qiladi.  $q$  musbat nuqtaviy zaryadni  $Q$  manfiy zaryad elektr maydonida ko'chirishda bajarilgan  $A$  ishni aniqlaylik (4-rasm).



4-rasm.

Kulon qonuniga ko'ra zaryadni harakatlantiruvchi kuch o'zgaruvchan va uning kattaligi  $F = \frac{qQ}{4\pi \epsilon_0 r^2}$  ga teng, bu yerda  $r$ —

zaryadlar orasidagi o'zgaruvchan masofa.  $m$  massani  $M$  massaning gravitatsiya maydonida harakatlantiruvchi kuch ham xuddi shunday qonun bo'yicha (masofa kvadratiga teskari proporsionallik qonuni bo'yicha) o'zgarishini qayd qilib o'taylik. Demak zaryadni elektr maydonida ko'chirishda bajarilgan (elektr kuchlari bajargan)

ish ham massani gravitatsiya maydonida ko'chirishda bajarilgan (gravitatsiya kuchlari bajargan) ish formulasiga o'xshash formula bilan ifodalanadi:

$$A = \frac{qQ}{4\pi\epsilon_0 r_n} - \frac{qQ}{4\pi\epsilon_0 r_0},$$

yoki

$$A = q \left( \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r_n} - \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r_0} \right). \quad (8)$$

(8) formulani  $A = W_0 - W_n$  umumiy formula bilan solishtirib,  $\left( -\frac{qQ}{4\pi\epsilon_0 r} \right)$  kattalik elektr maydonining berilgan nuqtasida

zaryadning potensial energiyasi ekan degan xulosaga kelamiz:

$$W_n = -\frac{qQ}{4\pi\epsilon_0 r}. \quad (9)$$

Minus ishorasi shuni ko'rsatadiki, zaryad maydon kuchlari ta'sirida ko'chirilgan sari uning potensial energiyasi ko'chish ishiga aylanib kamayib borar ekan. Birlik musbat zaryadning ( $q = +1$ ) potensial energiyasiga teng bo'lgan

$$\varphi = -\frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r}. \quad (10)$$

kattalik elektr maydonining potentsiali yoki elektr potentsiali deyiladi. Elektr potentsiali ko'chirilayotgan zaryad kattaligiga bog'liq bo'lmaydi, shuning uchun gravitatsiya potentsiali gravitatsiya maydonining potentsiali bo'lgan singari elektr potentsiali ham elektr maydonining xarakteristikasi bo'lib xizmat qilishi mumkin.

Potensialning (10) ifodasini ishning (8) formulasiga qo'yib

yoki

$$A = q(\varphi_0 - \varphi_n) \quad (11)$$

$$\varphi_0 - \varphi_n = \frac{A}{q} \quad (12)$$

ifodani olamiz. Agar  $q = +1$  deb faraz qilsak, elektr maydonida bajarilgan ish uchun quyidagi ifodani yozish mumkin:

$$\varphi_0 - \varphi_n = A.$$

Shunday qilib, maydonning ikki nuqtasi orasidagi potentsiallar ayirmasi maydon tomonidan birlik musbat zaryadni bir nuqtadan ikkinchisiga ko'chirishda bajarilgan ishga teng ekan.

Endi  $q$  zaryadni (maydon kuchlariga teskari harakat qilib) biror nuqtadan cheksizlikka ( $r_n = \infty$ ) ko'chiramiz. U holda (10) va (12) formulalarga muvofiq,  $\varphi_n = 0$  va

$$\varphi_0 = \frac{A}{q} \quad (13)$$

$q = +1$  bo'lganda  $\varphi_0 = A$ . Demak, elektr maydoni biror nuqtasining potentsiali birlik musbat zaryadni shu nuqtadan cheksizlikka ko'chirishda bajarilgan ishga teng ekan.

(13) formuladan potensialning o'lchov birligini topamiz, potensialning o'lchov birligi volt ( $V$ ) deb ataladi:

$$1V = \frac{1J}{1K}, \quad (14)$$

ya'ni volt shunday nuqtaning potentsialiki, bu nuqtadan  $+1$  birlik zaryadni cheksizlikka ko'chirishda  $1J$  ga teng ish bajariladi. Potensialning o'lchamligi

$$[\varphi] = \frac{[A]}{[q]} = m^2 \cdot kg \cdot sek^{-3} \cdot A^{-1}.$$

Endi (14) formulani nazarga olib, 2-§ da aniqlangan elektr maydonining o'lchov birligi  $N/Kl$  haqiqatan ham  $V/m$  ga teng ekanini ko'rsatishi mumkin:

$$\frac{N}{K} = \frac{N \cdot m}{K \cdot m} = \frac{J}{K \cdot m} = \frac{V}{m}.$$

Agar maydonni vujudga keltirayotgan  $Q$  zaryad manfiy bo'lsa, u holda maydon kuchlari birlik musbat zaryadning cheksizlikka ko'chishiga to'sqinlik qiladi va bunda manfiy ish bajaradi. Shuning uchun ham manfiy zaryad hosil qilgan maydonning har qanday

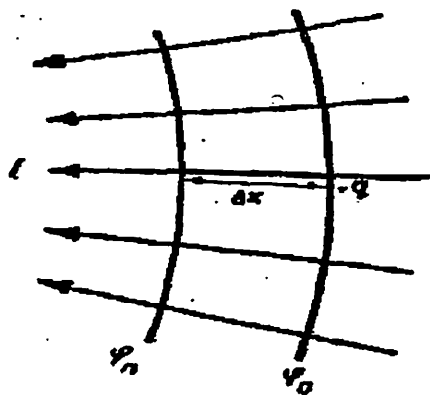
nuqtasidagi potensial manfiy bo'ladi (tortishish maydonining ixtiyoriy nuqtasidagi gravitatsiya potentsiali manfiy bo'lgani kabi). Agar maydonni hosil qilayotgan  $Q$  zaryad musbat bo'lsa, u holda maydon kuchlari birlik musbat zaryadni cheksizlikka ko'chiradi va musbat ish bajaradi. Shuning uchun musbat zaryad maydonining ixtiyoriy nuqtasidagi potensial musbat bo'ladi. Bu mulohazalardan (10) ifodani umumiy holda shunday yozish mumkin:

$$\varphi = \pm \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (15)$$

bu yerda minus ishorasi manfiy zaryad bo'lgan holda, plus ishorasi esa musbat  $Q$  zaryad bo'lgan holga to'g'ri keladi.

Zaryadni elektr maydonida ko'chirishda bajarilgan ish, massani gravitatsiya maydonida ko'chirishda bajarilgan ish singari, ko'chirish yo'lining shakliga bog'liq emas, faqat yo'lining boshlang'ich va oxirgi nuqtalarining potentsiallari ayirmasiga bog'liq bo'ladi. Binobarin, elektr kuchlari potensial kuchlardir. Barcha nuqtalarida potentsiallari bir xil bo'lgan sirt ekvipotensial sirt deyiladi. (11) formuladan ko'rinib turibdiki, zaryadni ekvipotensial sirt bo'ylab ko'chirishda bajarilgan ish nolga teng bo'ladi (chunki  $\varphi_0 = \varphi_n$ ).

Bu degan so'z elektr maydon kuchlari ekvipotensial sirtlarga perpendikulyar yo'nalgan, ya'ni maydon kuch chiziqlari ekvipotensial sirtlarga perpendikulyar demakdir (5-rasm).



5-rasm.

Shunday qilib, elektr maydoni ikki fizik kattalik bilan xarakterlanadi: kuchlanganlik (kuch xarakteristikasi) va potensial (energetik xarakteristikasi); bu ikki fizik kattalikning o'zaro qanday bog'lanishda ekanini aniqlaylik.

Aytaylik,  $q$  musbat zaryad elektr maydon kuchi ta'sirida potentsiali  $\varphi_0$  bo'lgan ekvipotensial sirdan potentsiali  $\varphi_n < \varphi_0$  bo'lgan yaqindagi ekvipotensial sirtga ko'chirilgan bo'lsin (5-rasmga qarang). Maydonning  $E$  kuchlanganligi kichik  $\Delta x$  yo'lda doimiy deb hisoblash mumkin. U holda ko'chirish ishini shunday yozish mumkin:

$$\Delta A = q E \cdot \Delta x \quad (16)$$

$$\Delta A = q(\varphi_0 - \varphi_n) = -q \cdot \Delta \varphi, \quad (17)$$

bu yerda

$$\varphi_0 - \varphi_n = -\Delta \varphi$$

(16) va (17) formulalardan quyidagini hosil qilamiz:

$$E = -\frac{\Delta \varphi}{\Delta x} = -\text{grad } \varphi; \quad (18)$$

minus ishorasi maydon kuchlanganligi potensialning kamayish tomoniga, potensial gradiyenti esa potensialning ortish tomoniga qarab yo'nalgani uchun qo'yilgan (5-rasmga qarang).

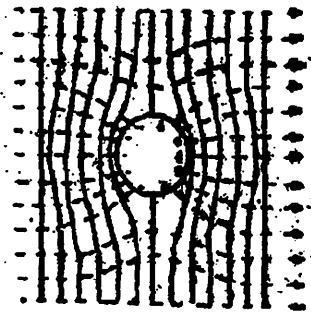
Shunday qilib, maydon kuchlanganligi kattaligi jihatidan potensial gradiyentiga teng va unga qarama-qarshi yo'nalgan. (18) formula, shuningdek, elektr maydoni kuchlanganligining o'lchov birligi  $1 \text{ V/m}$  ekanini ko'rsatadi.

#### 4-§. Elektr maydonida o'tkazgichlar. Elektr sig'im. Zaryadlangan o'tkazgichning energiyasi

Bir jinsli elektr maydoniga neytral o'tkazgich, masalan, metall shar joylashtiraylik. Maydon ta'sirida o'tkazgichning erkin elektronlari maydonga qarshi harakat qila boshlaydi. Natijada shar sirtining chap qismi manfiy zaryadlanadi, elektronlar yetishmagan o'ng qismi esa musbat zaryadlanadi (6-rasm). Bu hodisa elektrostatik induksiya deyiladi. Induksiyalangan zaryadlar o'tkazgich ichida o'zining xususiy elektr maydonini hosil qiladi, maydonning



o'tkazgichni dastlab kesib o'tgan tashqi maydonga qarama-qarshi yo'nalganligi ravshan. Tashqi elektr maydon o'tkazgich ichidagi zaryadlarning xususiy maydoni bilan kompensatsiya qilmaguncha o'tkazgichda zaryadlar qayta taqsimlanaveradi va nihoyat tashqi maydon kompensatsiyalanganda zaryadlarning qayta taqsimlanishi to'xtaydi hamda o'tkazgich ichida maydon nolga teng bo'lib qoladi. Shunday qilib, elektr maydoniga joylashtirilgan o'tkazgich ichida maydon bo'lmaydi. Demak, o'tkazgichning barcha nuqtalarining potentsiali bir xil bo'ladi va o'tkazgichning sirti ekvipotensial sirt bo'lib qoladi. Biroq bu holda tashqi maydonning kuch chiziqlari o'tkazgich yaqinida o'tkazgich sirtiga perpendikulyar joylashishi kerak. Shunday qilib, elektr maydoniga kiritilgan o'tkazgich, garchi u zaryadlangan bo'lmasa ham, bu maydonni buzadi: o'tkazgich yaqinida bu maydon bir jinsli bo'lmay qoladi, 6-rasmda maydon kuch chiziqlari (shtrix chiziq) va ekvipotensial sirtlar (tutash chiziqlar) tasvirlangan.



6-rasm.

Ravshanki, elektr maydoni faqat yaxlit o'tkazgichning ichidagina emas, balki o'tkazgichda bo'lgan kovaklar ichida ham bo'lmaydi. O'tkazgichlarning bu xossasidan elektrostatik himoyada foydalaniladi: tashqi elektr maydonidan himoya qilinishi kerak bo'lgan asbobni hamma tomondan o'tkazgich bilan, masalan, qalin metall to'r bilan o'rab qo'yiladi va bu to'r yerga ulanadi.

Agar o'tkazgich zaryadlangan bo'lsa, u holda unga berilgan zaryadlar kulon itarishish kuchlari ta'sirida iloji boricha bir-biridan

katta masofaga uzoqlashadi. Shuning uchun elektr zaryadlari o'tkazgichning faqat tashqi sirtida joylashadi. O'tkazgich ichida esa erkin zaryadlar bo'lmaydi. O'tkazgichning do'ng qirralari, o'tkir uchlari va shunga o'xshash joylarida zaryad zich joylashadi. Bunday qismlar yaqinida zaryadlangan o'tkazgich maydonining kuchlanganligi eng katta bo'ladi.

O'tkazgichning sirti ekvipotensial sirt bo'lgani uchun zaryadlangan o'tkazgichni uni potentsiali bilan xarakterlash mumkin. Tajriba shuni ko'rsatadiki, o'tkazgichning zaryadi ortgan sari uning potentsiali ham ortadi, zaryad  $dq$  kattalikka ortganda potentsial ham  $d\phi$  kattalikka ortadi, biroq zaryad ortishining potentsial ortishiga bo'lgan nisbati

$$C = \frac{dq}{d\phi} = \frac{q}{\phi} \quad (19)$$

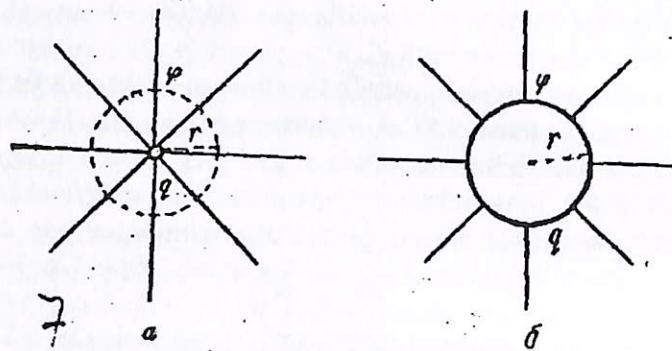
doimiy qoladi, bu yerda  $q$ —zaryad,  $\phi$ —o'tkazgichning potentsiali.  $C$  kattalik o'tkazgichning elektr sig'imi deyiladi. O'tkazgichning elektr sig'imi uning o'lchamlari, shakli va uni o'rab turgan muhitning tabiatiga bog'liq bo'lgan muhim elektr kattalikdir. Biroq shuni ta'kidlash kerakki, bunday deyish faqat yagona turgan o'tkazgichlar uchungina o'rinli bo'ladi. Agar o'tkazgich yaqinida boshqa jismlar turgan bo'lsa, ularning zaryadlari (o'zlarining zaryadi yoki induksiyalangan zaryadlar) maydoni o'tkazgich potentsialini o'zgartiradi, binobarin, bunda o'tkazgichning sig'imi ham o'zgaradi. Shunday qilib, (19) formulaga muvofiq *yakkalangan o'tkazgichning elektr sig'imi son jihatdan shu o'tkazgichning potentsialini bir birlikka o'zgartiruvchi zaryad miqdoriga teng.*

Elektr sig'imining birligi farada shunday yakkalangan o'tkazgichning sig'imiki, bunday o'tkazgichda 1 KJ zaryad 1 V potentsialni hosil qiladi, ya'ni

$$1 F = \frac{1 K}{1 V} \text{ ga teng.}$$

(19) formulaga muvofiq, elektr sig'imining o'lchamligi SI sistemasidan ekanligini aniqlash qiyin emas.

$$[C] = \frac{[q]}{[\varphi]} = m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot sek^4 \cdot A^2$$



7-rasm

7-rasmda kuch chiziqlari yordamida yakkaalangan nuqtaviy  $q$  zaryad (a) va  $r$  radiusli zaryadlangan sharning (b) elektr maydonlari tasvirlangan.

Nuqtaviy zaryaddan va sharning markazidan  $\geq r$  masofada bu maydonlar mutloq bir xil ekan. Shuning uchun radiusi  $r$  va sig'imi  $C$  bo'lgan shar sirtining potentsiali nuqtaviy zaryaddan  $r$  masofada bo'lgan ekvipotensial sirtning potentsialiga teng ekan (7-a rasmda b sirt shtrix chiziqlar bilan tasvirlangan). U holda (19) va (15) formulalarga muvofiq,

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

bundan

$$C = 4\pi\epsilon_0 r \quad (20)$$

va

$$\epsilon_0 = \frac{C}{4\pi r} \quad (21)$$

$\epsilon_0$  — elektr doimiysining, 1-§ da aytilganidek, Farada taqsim metr ( $F/m$ ) bilan o'lchanishi kerak ekanligi (21) formuladan bevosita kelib chiqadi.

(20) formuladan sharning  $r$  radiusi qanday ifodalanishini topaylik:

$$r = \frac{C}{4\pi\epsilon_0}. \text{ Agar } C=1\Phi \text{ bo'lsa, u holda } \epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \Phi/m$$

ekanligini hisobga olib, shar radiusni topamiz:

$$r = \frac{1F}{4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} F/m} = 9 \cdot 10^9 m.$$

Binobarin, radiusi  $9 \cdot 10^6 km$  bo'lgan yakkaalangan o'tkazgich sharning sig'imi 10 bo'lar ekan. Bu sig'imning haddan tashqari katta birligidir.  $9 \cdot 10^6 km$  radiusli sharni Yer va Quyosh o'lchamlari bilan taqqoslang. Shuning uchun texnikada ko'pincha sistemaga kirmaydigan birliklar—mikrofarada, nano va pikofaradadan foydalaniladi:  $1 \mu K\Phi = 10^{-6} \Phi$ ,  $1 H\Phi = 10^{-9} \Phi$ , bu sig'imlar radiusi  $9 km$  va  $0,9 cm$  bo'lgan yakkaalangan o'tkazgich sharlarning sig'imlari bo'ladi.

Yerni umuman radius  $R=6400 km$  bo'lgan o'tkazgich shar deb hisoblash mumkin. Bu holda Yer sharining sig'imi  $C = \frac{6400}{9} \approx 711 (mkF)$  ga teng bo'ladi.

O'tkazgichni zaryadlash uchun bir ismli zaryadlar orasidagi kulon itarishish kuchlarini yengish uchun zarur bo'lgan ma'lum ishni bajarish kerak. Bu ish zaryadlangan o'tkazgichning elektr maydoni energiyasini orttirishga ketadi. Zaryadlangan o'tkazgichning energiyasini topaylik. Dastlab sig'imi  $C$  bo'lgan neytral o'tkazgichga  $q$  zaryad berilgan bo'lsin. Shu bilan birga, zaryadlash potentsiali  $\varphi_0 = 0$  bo'lgan cheksizlikdan keltirilayotgan kichik  $dq$  zaryad porsiyalari vositasida asta-sekin amalga oshirilayotgan bo'lsin. O'tkazgich zaryadlangani sari uning potentsiali ortadi. Bu o'zgaruvchan potentsialni  $\varphi$  orqali belgilaylik. U holda navbatdagi  $dq$  zaryadni ko'chirishda bajarilgan kichik  $dA$  ish (11) formulaga muvofiq quyidagi munosabat bilan ifodalanadi:

$$dA = (\varphi_0 - \varphi) \cdot dq = -\varphi \cdot dq.$$

(19) formulaga muvofiq,  $dq = C \cdot d\varphi$ , shuning uchun

$$dA = -C\varphi \cdot d\varphi$$

O'tkazgichni zaryadlashdagi to'liq ish barcha kichik  $dA$  ishlar yig'indisiga teng bo'ladi, ya'ni

$$A = \int_0^{\varphi} dA = -C \int_0^{\varphi} \varphi \cdot d\varphi = -\frac{1}{2} C \varphi^2.$$

Minus ishorasi ishning tashqi kuchlar tomonidan zaryadlangan o'tkazgich maydoni kuchlariga qarshi bajarilishini ko'rsatadi. Kattaligi xuddi shunday, biroq musbat ishni endi zaryadlangan o'tkazgichning o'zi (zaryadlanish jarayonida) bajarishi mumkin. Shuning uchun *zaryadlangan o'tkazgichning energiyasi*  $W$  quyidagi

$$W = \frac{C \varphi^2}{2} \quad (22)$$

formula bilan, yoki (19) formulaga muvofiq,

$$W = \frac{q \varphi}{2} = \frac{q^2}{2C} \quad (23)$$

formulalar bilan aniqlanadi.

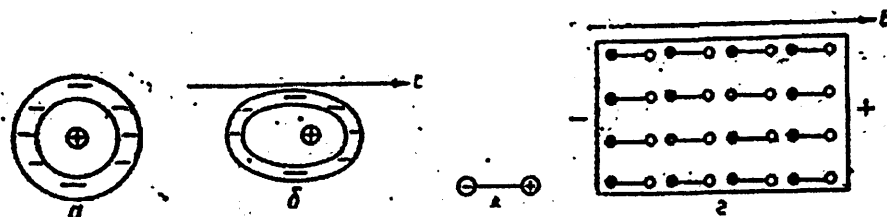
## 5-§. Elektr maydonidagi dielektriklar. Dielektriklarning qutblanishi

Elektr maydoniga joylashtirilgan dielektrik qutblanish xossasiga ega bo'lishini tajribalar ko'rsatadi: dielektrikning kuch chiziqlari kiradigan qismi manfiy zaryadlanadi, qarama-qarshi qism esa musbat zaryadlanadi. Bu hodisa dielektrikning qutblanishi deb yuritiladi. Chetdan qaraganda dielektrikning qutblanish jarayoni avval biz ko'rib o'tgan o'tkazgichlardagi elektrostatik induksiya jarayoniga o'xshash. Biroq bu jarayonlar mohiyati jihatidan turlichadir. Dielektrikda maydon ta'sirida qayta taqsimlanadigan erkin zaryadlar yo'q. Dielektrikda turli ishorali barcha zaryadlar juft-juft bo'lib bog'langandir (atomning elektron qobiqlari uning yadrosi bilan, kristallning manfiy ionlari uning musbat ionlari bilan bog'langan kabi va h.k.). Qutbsiz molekulalardan tuzilgan va qutbli molekulalardan iborat dielektriklarning qutblanishi mexanizmlari turlicha. Dipol molekulalaridan tuzilgan dielektriklarning qutblanishiga bog'langan

zaryadlarning bog'lanish markaziga nisbatan tashqi maydonda burilishiga sabab bo'ladi. Qutblanishning biz sanab o'tgan turlarini batafsil ko'rib chiqamiz.

### 1. Qutbsiz molekulalardan tuzilgan dielektriklarning qutblanishi.

Qutbsiz molekula (yoki atom) sxematik ravishda manfiy zaryadlangan qobiq (elektron qobig'i) bilan simmetrik o'ralgan musbat zaryadlangan markaziy soha (atom yadrosi) ko'rinishida tasvirlanishi mumkin, ya'ni tashqi elektr maydoniga bunday dielektrik kiritilmaganda zaryadlar massa markazi ustma-ust tushadi. Tashqi fazoga nisbatan bunday molekula neytral bo'ladi (8-a rasm).  $E$  kuchlanganlik elektr maydon ta'sirida musbat zaryad maydon yo'nalishida siljiydi, elektron qobiq esa qarama-qarshi tomonga tortiladi (8-b rasm) (massa markazilari siljiydi).

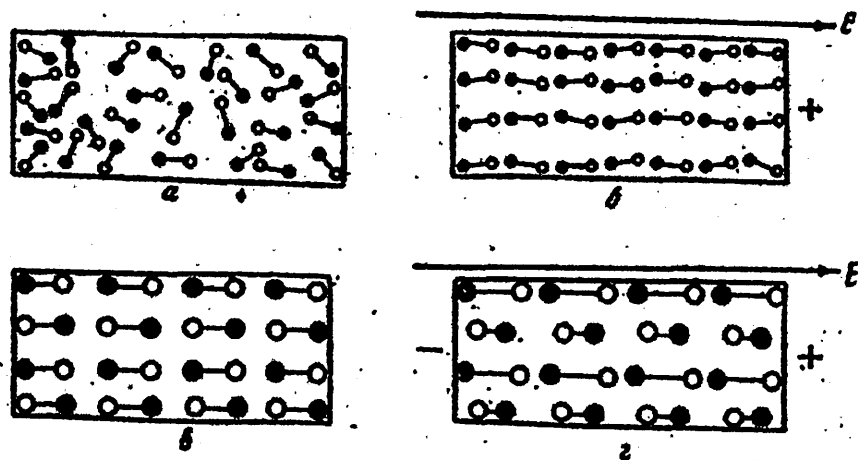


8-rasm

Molekula endi elektr dipolga o'xshab *qutblangan (dipolli)* bo'lib qoladi. (8-v rasm). Molekulalarning bunday tur qutblanishi *elektron qutblanish* deyiladi. Ravshanki, dielektrikni elektr maydoniga joylashtirilganda barcha qutbsiz molekulalar maydon kuch chiziqlari bo'ylab zanjir singari joylashgan dipolli molekulalarga aylanib qoladi, molekulalarning bunday joylashishi 8-g rasmda ko'rsatilgan, qora doirachalar bilan manfiy zaryadlar, oq doirachalar bilan esa musbat zaryadlar belgilangan.

Natijada dielektrikning uchlari turli ishorali bog'langan zaryad bilan zaryadlangan bo'lib qoladi — dielektrik qutblanadi. Tashqi elektr maydoni ta'siri to'xtalishi bilan qutblanish yo'qoladi. Dielektrikning elektron qutblanish darajasi uning xossalriga va maydon kuchlanganligi kattaligi  $E$  ga bog'liq bo'ladi.

Ba'zi dielektriklarning molekularlari hamma vaqt ham (tashqi maydon bo'lmaganda ham) elektr jihatdan nosimmetrik, ya'ni dipolli bo'ladi. Masalan, suv, ammiak, efir, atseton shunday dielektriklarga misol bo'ladi. Issiqlik harakati tufayli dipolli molekularlar dielektriklarda tartibsiz joylashgan, ya'ni dipolli molekularlarning o'qlari turli-tuman yo'nalishlarda bo'ladi (9-a rasm). Shuning uchun dielektrik butunlayicha qutblanmagan bo'ladi. Elektr maydoni ta'sirida dielektrikning barcha dipol molekularlari shunday buriladiki, ularning o'qlari taxminan maydonning kuch chiziqlari bo'ylab joylashadi. Natijada dielektrik qutblanadi (9-b rasm). Dielektrikning bunday qutblanishi *oriyentirlangan* yoki *dipolli qutblanish* deyiladi. Issiqlik harakati tufayli molekularlar batamom oriyentirlana olmaydi. Oriyentirlangan dipollarning qutblanish darajasi dielektrikning xossalriga, maydon kuchlanganligi  $E$  ning kattaligiga va temperaturaga bog'liq bo'ladi.



**9-rasm.**

Tashqi maydon yo'qolganda dielektrikning qutblanishi ham yo'qoladi, chunki issiqlik harakati molekulalarning oriyentatsiyasini darhol buzadi. Biroq maydon ta'siri yo'qolgandan keyin ham birmuncha qutblanishi saqlanadigan dielektriklar ham mavjud,

bunday dielektriklar *segnetoelektriklar* deyiladi. Segnetoelektriklarda qutblanishning birmuncha saqlanib qolishiga sabab ularning har birida barcha dipol molekulalar bir xil oriyentirlangan mikroskopik hajmlarning bo'lishidir, bunday hajmlarni *o'z-o'zidan qutblanuvchi* sohalar deb yuritiladi. Segnetoelektriklarda tashqi maydon ayrim qutbli molekulalarni emas, balki butun qutbli hajmlarni buradi. Elektr maydoni yo'qolganda issiqlik harakati faqat temperatura yetarlicha baland bo'lgandagina bunday hajmlarning oriyentatsiyasini buzishi mumkin.

Aks holda segnetoelektrik maydon yo'qolgandan keyin ham qutblanganligicha qoladi. Segnet tuzi ( $\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) va bariy titanat ( $\text{BaTiO}_3$ ) tipik segnetoelektriklardir.

### 3. Ionli kristall tuzilishga ega bo'lgan dielektriklarning qutblanishi.

Ion panjarali kristall dielektrlarda ( $NaCl, KCl$ ) turli ishorali qo'shni ionlarning har bir jufti dipolga o'xshash bo'ladi (9-v rasm). Elektr maydonida bu dipollar deformatsiyalanadi; agar ularning o'qlari maydon bo'ylab yo'nalgan bo'lsa uzayadi, o'qlari maydonga qarshi yo'nalgan bo'lsa, qisqaradi (9-g rasm). Natijada dielektrik qutblanadi. Dielektrikning bunday qutblanishi ionli qutblanish deyiladi. Ionli qutblanish darajasi dielektrikning xossalriga va maydonning  $E$  kuchlanganligiga bog'liq bo'ladi.

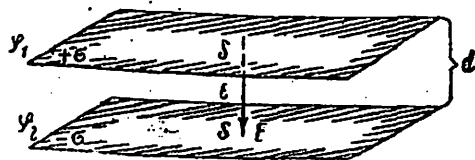
Ba'zi kristallar (kvars, turmalin va boshqalar) mexanik deformatsiyalanganda qutblanadi. Ma'lum bir yo'nalish bo'ylab qirib olingan bunday kristall plastinka siqilganda uning tekisliklari turli ishorali zaryadlanadi va plastinka ichida elektr maydoni vujudga keladi. Plastinka cho'zilganda uning qutblanishi va maydonning yo'nalishi qarama-qarshisiga o'zgaradi. Bu hodisa *pyezoelektrik effekt* deb, bunday effekt bo'ladigan moddalar esa *pyezoelektriklar* deyiladi. Pyezoelektrik effekti pyezoelektrikning molekullari strukturaviy gruppalarining deformatsiyasiga bog'liqdir, bunday deformatsiya tufayli bu gruppalarning har birida elektr jihatdan simmetriklilik buziladi.

Teskari pyezoelektrik effekt ham mavjud (bu effekt elektrost-riksiyaning xususiy holdidir): bunda tashqi elektr maydon ta'sirida pyezoelektrik plastinka maydon bo'ylab deformatsiyalanadi (maydon yo'nalishiga bog'liq holda qisqaradi yoki cho'ziladi).

Pyezoelektrik effekt texnikada tez o'zgaruvchan bosimlarni o'lchash va ultratovush tebranishlarni o'rganish uchun foydalaniladi. Teskari pyezoelektrik effektidan ultratovush tebranishlarini hosil qilishda foydalaniladi. Pyezokvars yuqori chastotali elektr tebranishlarini stabillashda ishlatiladi, chunki pyezokvarsning xususiy mexanik tebranishlari chastotasi juda turg'un doimiylik bilan xarakterlanadi.

## 6-§. Kondensator. Elektr maydoni energiyasi

Biz ko'rib o'tganimizdek elektr sig'imi katta bo'lgan o'tkazgichning o'lchamlari juda katta bo'lishi kerak. Masalan, sig'imi 1 mkf bo'lgan yakkaalangan metall sharning radiusi 9 km bo'ladi. Biroq, dielektriklar bilan ajratilgan o'tkazgichlardan tuzilgan shunday sistema hosil qilish mumkinki, bu sistema o'lchamlari kichik bo'lganda ham uning sig'imi katta bo'ladi.



10-rasm.

Bunday xil elektr sistema kondensator deb ataladi. Eng sodda kondensator yupqa dielektrik qatlami bilan ajratilgan ikki parallel metall plastinkalardan tuzilgandir (10-rasm).

Yassi kondensatorning qoplamalariga kattaliklari jihatidan teng bo'lgan turli ishoralari zaryadlar beriladi.

(19) formulaga muvofiq, yassi kondensatorning  $C$  sig'imi uning qoplamalaridan biridagi  $q$  zaryadning bu qoplamalar potentsiallari ayirmasi  $\varphi_1 - \varphi_2$  ning nisbatiga teng:

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} \quad (24)$$

Shunday belgilab olaylik:  $d$ -kondensator qoplamalari orasidagi masofa,  $S$ -har bir qoplamaning yuzi,  $\sigma$ -qoplama zaryadining sirt zichligi,  $\varepsilon$ -qoplamalar orasidagi muhitning dielektrik singdiruvchanligi,  $d$  ning qiymati kichik bo'lganda kondensator orasidagi maydonni bir jinsli deb hisoblash mumkin. U holda maydon kuchlanganligi  $E$  kattalik jihatidan potentsial gradiyentiga teng bo'lishini nazarga olib, shunday yozish mumkin:

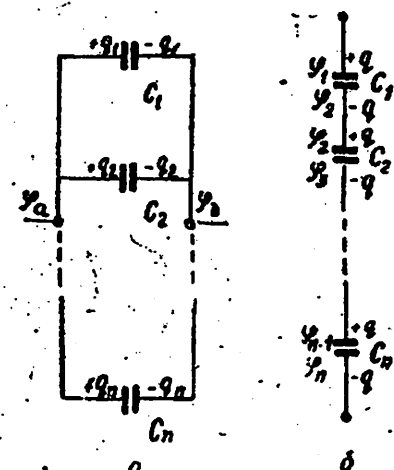
$$\varphi_1 - \varphi_2 = Ed, \quad (25)$$

yoki  $E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$  formulani va dielektrikning borligini nazarga olsak,

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{\sigma}{\varepsilon_0 \varepsilon} d.$$

Oxirgi ifodani  $q = \sigma S$  ekanligini hisobga olgan holda (24) formulaga qo'ysak, yassi kondensator uchun quyidagi formulani hosil qilamiz:

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d}. \quad (26)$$



11-rasm.



Bu formuladan yassi kondensator qoplamalarining yuzi va bu qoplamalarni ajratib turuvchi muhitning dielektrik singdiruvchanligi qancha katta bo'lsa va qoplamalar orasidagi masofa qancha kichik bo'lsa, yassi kondensatorning sig'imi shuncha katta bo'lishi kelib chiqadi.

Amalda kondensatorni ko'pincha ikkita yupqa, tor va uzun metall folga lentasidan qilinib, ular orasiga juda yupqa parafinlangan qog'oz qo'yiladi. Hosil bo'lgan uch qavatli polosa zich rulon bilan o'raladi. Bunday kondensatorning o'lchami gugurt qutisidek bo'lib, sig'imi 10 mkF ga yaqin bo'ladi (shunday sig'imli metall sharning radiusi 90 km bo'lgan bo'lur edi). O'zgaruvchan sig'imli kondensatorlarda odatda gazsimon va suyuq dielektriklar ishlatiladi.

Kondensator tashqarisida elektr maydoni bo'lmagani uchun kondensator o'ziga qo'shni bo'lgan o'tkazgichlarda zaryadlarni induksiyalay olmaydi. Shuning uchun qo'shni joylashgan o'tkazgichlar kondensatorning sig'imiga ta'sir ko'rsatmaydi. Kondensatorlar elektrotexnikada ko'p ishlatiladi.

Bir necha kondensatorni batareya qilib ulash mumkin. Kondensatorlar *parallel* va *ketma-ket* ulanganda kondensatorlar batareyasining sig'imini aniqlaylik.

Parallel ulangan barcha kondensatorlarda qoplamalardagi potentsiallar ayirmasi bir xil bo'lib,  $\varphi_a - \varphi_b$  ga teng bo'ladi, chunki qoplamalar o'tkazgich bilan ulangan (11-a rsm).

Qoplamalardagi bir ismli zaryadlarning yig'indisi  $q_1 + q_2 + \dots + q_n = q$  bo'ladi. Bunday batareyaning sig'imi

$$C = \frac{q}{\varphi_a - \varphi_b} = \frac{q_1}{\varphi_a - \varphi_b} + \frac{q_2}{\varphi_a - \varphi_b} + \dots + \frac{q_n}{\varphi_a - \varphi_b}$$

bo'ladi. Biroq  $\frac{q_1}{\varphi_a - \varphi_b} = C_1$  - birinchi kondensatorning sig'imi.

ikkinchi kondensatorning sig'imi va hokazo. Shuning uchun

$$C = \sum_{i=1}^n C_i. \quad (27)$$

Ketma-ket ulangan kondensatorlarda (11-b rasm) barcha qoplamalarning zaryadlari katalik jihatdan bir xil bo'lib, ga teng bo'ladi,

potentsiallar ayirmasi esa

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

Bunday batareyaning sig'imi

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_n},$$

bundan

$$\frac{1}{C} = \frac{\varphi_1 - \varphi_n}{q} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{q} + \frac{\varphi_2 - \varphi_3}{q} + \dots + \frac{\varphi_{n-1} - \varphi_n}{q}.$$

Biroq  $\frac{\varphi_1 - \varphi_2}{q} = \frac{1}{C_1}$  kattalik birinchi kondensatorning sig'imiga

teskari katalik,  $\frac{\varphi_2 - \varphi_3}{q} = \frac{1}{C_2}$  ikkinchi kondensatorning sig'imiga

teskari kattalik va hokazo. Shuning uchun

$$\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i}. \quad (28)$$

Har qanday zaryadlangan o'tkazgich singari, kondensatorning ham elektr energiyasi bo'ladi, bu energiya (22) formulaga muvofiq

$$W = \frac{C(\varphi_1 - \varphi_2)^2}{2}$$

ga teng bo'ladi yoki (26) va (27) formulalarni hisobga olsak:

$$W = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 E^2 S d}{2}.$$

Biroq  $Sd = \Omega$  kondensator qoplamalari orasidagi hajmdir. Shuning uchun

$$W = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 E^2}{2} \Omega. \quad (29)$$

Barcha elektr maydon kondensator ichida to'plangan bo'lgani uchun (29) formula kondensator elektr maydonining energiyasini ifodalaydi deyish mumkin. Bunda elektr maydoning energiyasi shu

potensiallar ayirmasi esa

$$\varphi_1 - \varphi_n \cong (\varphi_1 - \varphi_2) + (\varphi_2 - \varphi_3) + \dots + (\varphi_{n-1} - \varphi_n) .$$

Bunday batareyaning sig'imi

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_n} ,$$

bundan

$$\frac{1}{C} = \frac{\varphi_1 - \varphi_n}{q} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{q} + \frac{\varphi_2 - \varphi_3}{q} + \dots + \frac{\varphi_{n-1} - \varphi_n}{q} .$$

Biroq  $\frac{\varphi_1 - \varphi_2}{q} = \frac{1}{C_1}$  kattalik birinchi kondensatorning sig'imiga

teskari kattalik,  $\frac{\varphi_2 - \varphi_3}{q} = \frac{1}{C_2}$  ikkinchi kondensatorning sig'imiga

teskari kattalik va hokazo. Shuning uchun

$$\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i} . \quad (28)$$

Har qanday zaryadlangan o'tkazgich singari, kondensatorning ham elektr energiyasi bo'ladi, bu energiya (22) formulaga muvofiq

$$W = \frac{C(\varphi_1 - \varphi_2)^2}{2}$$

ga teng bo'ladi yoki (26) va (27) formulalarni hisobga olsak:

$$W = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 E^2 S d}{2} .$$

Biroq  $Sd = \Omega$  kondensator qoplamalari orasidagi hajmdir. Shuning uchun

$$W = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 E^2}{2} \Omega . \quad (29)$$

Barcha elektr maydon kondensator ichida to'plangan bo'lgani uchun (29) formula kondensator elektr maydonining energiyasini ifodalaydi deyish mumkin. Bunda elektr maydoning energiyasi shu

maydon kuchlanganligi kvadratiga hamda uning fazosi o'ralgan hajmga proporsional ekan. Bu xulosa maydonning moddiyligi (realligi) haqidagi tasavurlarning to'g'ri ekanligidan dalolat beradi.

Elektr maydonining uning egallagan hajm birligiga to'g'ri keladigan energiyasi quyidagi munosabat bilan ifodalanadi:

$$\omega = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 E^2}{2} \quad (30)$$

bu yerda  $\omega$  kattalik elektr maydoni energiyasining zichligi deyiladi.

#### Nazorat savollari

1. Elektrlanishning mazmunini tushuntiring?
2. Elektr zaryadi qanday fizik kattalik?
3. Zaryadning qanday turlari mavjud?
4. Kulon tajribasini izoxlang?
5. Kulon qonunini ta'riflang?
6. Elektr maydon kuchlanganligining fizik ma'nosini tushuntiring?
7. Kuch chiziqlari oqimi deb nimaga aytiladi?
8. Elektr maydon kuchlanganligi oqimi nimaga teng?
9. Gaus teoremasini matematik ifodasini tushuntiring?
10. Uzunligi cheksiz va to'g'ri chiziq shaklli zaryadlangan simning  $r$  masofadagi elektr maydonning xisoblang?
11. Zaryadlangan cheksiz tekislikning va zaryadlangan bir - biriga parallel ikki tekislikning elektr maydoni kuchlanganligini aniqlang?
12. Sirt zichligi va chiziqli zichliklarni izoxlang?
13. Zaryadlangan yassi plastinka atrofidagi elektr maydon qanday ifodalanadi?
14. Ikki parallel zaryadlangan plastinka oralig'ida xosil buladigan maydon kuchlanganligini yozing?
15. Potensial tushunchasining fizik ma'nosi nima?
16. Ikki nuqta potenciallar farqi nimaga teng?
17. Potensial birligi nima va  $u$  nimaga teng?
18. Ekvipotensial chiziq degani nima?

19. Elektr maydon kuchlanganligi va potensial qanday o'zaro qanday bog'langan?

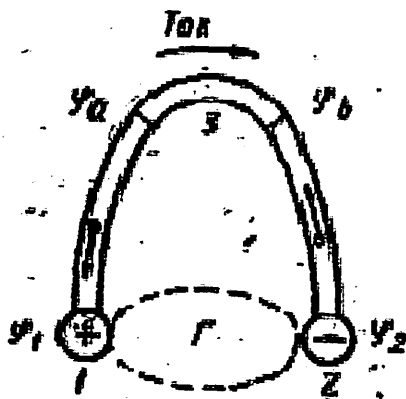
20. Zaryadni ko'chirishda bajarilgan iax qanday aniqlanadi?
21. Potensial maydon deb nimaga aytiladi?
22. Elektr maydonida o'tkazgich qanday qutublanadi?
23. Elektr sig'imi deb nimaga aytiladi?
24. Sig'im birligi qanday?
25. Yassi kondensator energiyasi nimaga teng?
26. Parallel va ketma - ket ulangan kondensatorlar sistemasining sig'imi nimaga teng?
27. Elektr maydon energiyasi qanday aniqlanadi, formulasini keltirib chiqaring?
28. Elektr maydoniga qo'yilgan o'tkazgich qanday ta'sirlanadi?
29. Elektr sig'im qanday fizik kattalik?
30. Kondensator qanday elektr qurilma, u qanday vazifani bajaradi?

## II. O'ZGARMAS ELEKTR TOKI

### 7-§. Elektr toki. Tok kuchi. Elektr yurituvchi kuch. Kuchlanish

Elektr zaryadlarining tartibli harakati (ya'ni ma'lum bir yo'nalishdagi harakati) elektr toki deyiladi. Tok yo'nalishi uchun musbat zaryadlarning harakat yo'nalishi qabul qilinadi. Odatda elektr toki elektr maydoni ta'sirida vujudga keladi.

Ikkita (1) va (2) o'tkazgichni turli ishorali elektr zaryadlari bilan  $\varphi_1$  va  $\varphi_2$  potentsiallargacha zaryadlaymiz va ularni 3 uchinchi o'tkazgich bilan ulaymiz (12-rasm).



12-rasm.

Bunda ulovchi o'tkazgichning uchlarida hosil bo'lgan  $\varphi_1 - \varphi_2$  potentsiallar ayirmasi uning ichida potentsial tushish tomoniga yo'nalgan elektr maydoni hosil qiladi. Agar ulovchi o'tkazgich birinchi tur o'tkazgich bo'lsa, u holda unda maydon ta'sirida manfiy zaryadlarning (elektronlarning) 231 yo'nalishidagi harakati boshlanadi, ya'ni o'tkazgich bo'ylab 132 yo'nalishida tok oqa boshlaydi.

O'tkazgichning ko'ndalang kesimi yuzasi orqali bir sekunda o'tgan  $\Delta q$  elektr miqdori (zaryad kattaligi)ga tok kuchi  $I$  deyiladi:

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}, \quad (1)$$

bu yerda  $\Delta t$ -zaryad o'tadigan vaqt oralig'i. Vaqt o'tishi bilan kuchi va yo'nalishi o'zgaraydigan tok o'zgarmas tok deyiladi; aks holda bunday tok o'zgaruvchan tok deyiladi.

Avval ta'kidlab o'tganimizdek SI birliklar sistemasida tok kuchi birligi – Amper (A) asosiy birlik bo'lib, ikkita tokli parallel o'tkazgichning o'zaro ta'siri asosida aniqlangan. (1) formuladan esa SI sistemasida zaryad birligi – Kulon bilan aniqlanadi.

Elektronlarning o'tkazgich bo'ylab harakati tufayli 1 va 2 o'tkazgichlar razryadlanadi va ular orasidagi potentsiallar ayirmasi yo'qoladi (12-rasm). Buning natijasida ulovchi o'tkazgich ichida elektr maydoni nolga teng bo'lib qoladi va tok o'tishi to'xtaydi. O'zgarmas tokni barqaror tutib turish uchun maxsus G qurilma bo'lishi va uning ichida hamma vaqt turli ismli zaryadlardan musbati (1) o'tkazgichga, manfiy zaryadlar esa (2) o'tkazgichga ko'chib turishi zarur. Bunday sharoitni hosil qiluvchi qurilma generator yoki tok manbai deb ataladi.

Ravshanki, generatorda zaryadlarni ajratuvchi kuchlar elektr tabiatli kuchlar bo'lmasligi kerak, chunki elektr kuchlar turli ismli zaryadlarni ajratmaydi, balki faqat birlashtirishi mumkin. Shuning uchun tok manbaida zaryadlarni ajratuvchi kuchlar, begona elektr ajratuvchi kuchlar deyiladi. Begona chet kuchlarning tabiati turlicha bo'lishi mumkin. O'zgarmas tok generatorida bu kuchlar magnit maydon energiyasi va yakorning aylanishidagi mexanik energiya hisobiga hosil bo'ladi: akkumulyator va galvanik elementlarda kimyoviy reaksiyalar energiyasi hisobiga; yarim o'tkazgichli fotoelementda elektromagnit to'lqin energiyasi (yorug'lik) hisobiga hosil bo'ladi va hokazo.

Shunday qilib, o'zgarmas tokning eng sodda yopiq elektr zanjiri ulovchi 3 o'tkazgich va G tok manbai hamda tok manbaining qutblari deb ataluvchi 1 va 2 o'tkazgichlardan iborat bo'lishi kerak. Tok manbai 1 va 2 o'tkazgichlarni uzluksiz zaryadlab turadi (12-rasmga qarang).

Tok manbai ichida ikki tur zaryadlarning ajralishi va ko'chishiga, birinchidan, musbat qutbdan manfiy qutbga yo'nalgan ichki elektr maydoni va ikkinchidan, tok manbai muhitning qarshiligi (masalan, akkumulyatordagi yoki galvanik elementdagi elektrolitning yopishqoqligi) to'sqinlik qiladi. Shuning uchun begona elektr ajratuvchi kuchning bajargan ishi tok manbai ichidagi elektr maydoni kuchlariga qarshi bajarilgan ish va bu manba muhitining mexanik qarshilik kuchlariga qarshi bajarilgan ishning yig'indisidan iborat bo'ladi:

$$A = A_1 + A'$$

Kattalik jihatdan ish

$$A_1 = q(\varphi_1 - \varphi_2),$$

bo'lib,  $q$  – kattalik tashqi kuchning elektr maydon ta'siriga qaramasdan tok manbai qutblariga olib o'tgan zaryadlarning (manfiy va musbat) arifmetik yig'indisiga tengdir. Shuning uchun yuqoridagi ifodani quyidagicha yozish mumkin:

$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2) + A'.$$

Tashqi elektr ajratuvchi kuchning manba ichida uning qutblari orasida birlik zaryadni ko'chirishda bajargan ishi tok manbaining elektr yurituvchi kuchi deb (E.Y.k.) ataladi. E.Y.k. ni  $\varepsilon$  harfi bilan belgilab, shunday yozish mumkin:

$$\varepsilon = \frac{A}{q} \text{ yoki } \varepsilon = (\varphi_1 - \varphi_2) + \frac{A'}{q}. \quad (2)$$

Agar tok manbaining qutblari ajralgan bo'lsa (3 ulovchi sim bo'lmasa),  $A' = 0$  bo'ladi, chunki bu holda begona kuch tok manbai ichida zaryadlarni ko'chirmaydi, balki faqat zaryadlarning (qutblarda) barqaror topgan ajralishini tutib turadi, xolos. U holda (2) formulaga muvofiq,

$$\varepsilon = \varphi_1 - \varphi_2,$$

ya'ni elektr yurituvchi kuch ajratilgan tok manbai qutblaridagi potentsiallar ayirmasiga teng. Tashqi elektr zanjiri bilan tutashtirilgan tok manbai qutblaridagi potentsiallar ayirmasi tok manbaining

kuchlanishi deyiladi. Kuchlanish e.Y.k. dan  $\frac{A'}{q}$  kattalikka kam bo'ladi. Shunday qilib, elektr yurituvchi kuch berilgan tok manbai qutblari ochiq (ajratilgan) bo'lganda ularda erishish mumkin bo'lgan maksimal potentsiallar ayirmasiga teng. Tashqi elektr zanjirning ixtiyoriy qismida, ya'ni 3 ulovchi o'tkazgichning ixtiyoriy ikki ko'ndalang kesimi orasidagi biror  $\varphi_a - \varphi_b = U$  potentsiallar farqi mavjud bo'ladi, bu farq zanjirning shu qismidagi kuchlanish yoki kuchlanish tushishi deb ataladi. (12-rasmga qarang).

Elektr yurituvchi kuch ham, kuchlanish ham potentsial birligi kabi V (Volt) bilan o'lchanadi.

#### 8-§. Metall o'tkazgichlardagi tok. O'tkazgichlar qarshiligi va qarshilikni temperaturaga bog'lanishi. Integral va differensial ko'rinishdagi Om qonunlari. Tokning ishi va quvvati

Avval qayd qilinganidek metall o'tkazgichlardagi tok o'tkazgichdagi erkin elektronlarning tartibli harakatidan iborat bo'lib, (elektron o'tkazuvchanlik) L.I.Mandelshtam va N.D.Papaleksi (1912 yil) va amerikalik fiziklar Styuart va Tolmen (1916 yil) tajribalarida to'la tasdiqlandi. Tajribalarning mohiyati va mazmuni quyidagidan iborat. Izolyatsiyalangan sim g'altagi sim o'ramlari markazidan o'tuvchi o'q atrofida tez aylantirildi. G'altak keskin to'xtatilganda unda qisqa muddatli elektr toki hosil bo'ladi. Miqdoriy o'lchashlar bu tok elektron massasi va zaryadiga ega bo'lgan zarralarning inersion harakatidan iborat ekanligini ko'rsatadi. G'altakdagi tok juda qisqa muddatli bo'ladi, chunki inersiyasi bo'yicha harakatlanayotgan elektronlar metall kristall panjarasidagi ionlari bilan to'qnashib, o'zining tartibli harakati tezligini tez yo'qotadi. Shunday qilib, metall o'tkazgich tokka ma'lum qarshilik ko'rsatadi. Bu qarshilikni bartaraf qilish va o'zgarmas tok olish uchun o'tkazgich ichida doimiy elektr maydonini saqlab turish, ya'ni o'tkazgich uchlaridagi potentsiallar ayirmasini (kuchlanishni) o'zgarmas tutib turish kerak. Ravshanki, tok kuchi juda bo'lmaganda ikki faktorga bog'liq; o'tkazgichga qo'yilgan kuchlanishga va o'tkazgichning qarshiligiga bog'liq bo'ladi.



XIX asrning boshida (1826 yil) nemis fizigi Om o'tkazgichdagi tok kuchi  $I$  bu o'tkazgichning uchlari orasidagi  $U$  kuchlanishga to'g'ri proporsional bo'lishini tajriba yo'li bilan aniqlagan edi:

$$I = kU, \quad (3)$$

bu yerda  $k$  – proporsionallik koeffitsiyenti bo'lib, o'tkazgichning elektr o'tkazuvchanligi yoki o'tkazuvchanlik deb ataladi. O'tkazuvchanlikka teskari bo'lgan

$$R = \frac{1}{k},$$

kattalik o'tkazgichning elektr qarshiligi deyiladi. (3) formulaga qarshilikni kiritib quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$I = \frac{U}{R}. \quad (4)$$

(4) munosabat zanjirning tok manbai bo'lmagan qismi uchun Om qonunini ifodalaydi (zanjirning bir qismi uchun Om qonunining integral ko'rinishi):

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

(4) formulaga muvofiq, qarshilikning o'lchov birligi uchun shunday o'tkazgichning qarshiligi olinadiki, o'tkazgich uchlariidagi kuchlanish 1 V bo'lganda unda 1 A tok kuchi hosil bo'ladi. Bu birlik Om deb atalgan:

$$1Om = \frac{1V}{1A}.$$

Demak, qarshilikning XBS da o'lchamligi

$$[R] = \frac{[U]}{[I]} = m^2 \cdot kg \cdot sek^{-3} \cdot A^{-2}.$$

Metall o'tkazgichning tokka ko'rsatadigan qarshiligi erkin elektronlarning metall ionlari bilan to'qnashishi tufayli hosil bo'lgani uchun qarshilik o'tkazgichning shakli, o'lchamlari va moddasiga bog'liq bo'ladi deb faraz qilish mumkin. Omning eksperimental tadqiqotlariga muvofiq, o'tkazgichning qarshiligi uning uzunligiga to'g'ri proporsional va ko'ndalang kesim yuzi ga teskari

proporsionaldir hamda silindrsimon bir jinsli o'tkazgich uchun

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (5)$$

deb yozish mumkin. Bu yerda  $\rho$  – o'tkazgichning materialini xarakterlovchi proporsionallik koeffitsiyenti bo'lib, o'tkazgich moddasining solishtirma qarshiligi deb ataladi. (5) - formuladan shunday munosabatni yozish mumkin:

$$\rho = \frac{RS}{l} \quad (6)$$

bunda  $S = 1$  va  $l = 1$  deb olsak, bo'ladi. Binobarin, moddaning solishtirma qarshiligi shu moddadan yasalgan qirrası 1 m bo'lgan kubning shu kub qirralaridan biriga parallel oqayotgan tokka ko'rsatayotgan va "Om"larda ifodalangan qarshiligiga teng. Solishtirma qarshilikning o'lchamligi, (XBS da)

$$[\rho] = \frac{[R] \cdot [S]}{l} = m^3 \cdot kg \cdot sek^{-3} \cdot A^{-2}.$$

(6) formulaga muvofiq, solishtirma qarshilikning birligi .

Amalda solishtirma qarshilikni ko'pincha sistemaga kirmaydigan birliklarda ham o'lchanadi, bu birliklarning maxsus nomlari birliklarda ham o'lchanadi, bu birliklarning maxsus nomlari yo'q:  $Om \cdot mm^2 / m$  va  $Om \cdot sm^2 / sm = Om \cdot sm$  (oxirgi birlikni ba'zida omsantimetr deb yuritiladi). O'z-o'zidan ravshanki,  $1 Om \cdot sm = 0,01 Om \cdot m$  va  $1 Om \cdot mm^2 / m = 10^{-6} Om \cdot m$ .

O'tkazgichlarning qarshiligi va solishtirma qarshiligi tashqi sharoitlarga, ayniqsa temperaturaga bog'liq bo'ladi. Temperatura ortishi bilan metall panjaradagi ionlarning xotik harakati tezlashadi va elektronlarning tartibli harakatini qiyinlashtiradi. Shuning uchun metallarning qarshiligi temperatura ortishi bilan ortadi. Tajribaning ko'rsatishicha, birinchi yaqinlashishda barcha metallarning qarshiligi temperatura o'zgarishi bilan chiziqli bog'langandir:

$$R = R_0 (1 + \alpha t) \quad (7)$$

bu yerda  $R_0$  o'tkazgichning  $0^\circ C$  temperaturada qarshiligi,  $\alpha$  – qarshilikning temperatura koeffitsiyenti. Ko'pchilik metallar uchun (juda past bo'lmagan temperaturada)  $\alpha = 0,004 grad^{-1}$ .

Qarshilik elektr termometrlarining tuzilishi aynan qarshilikning temperaturaga bog'liq bo'lishiga asoslangan: o'tkazgich qarshiligi kattaligiga qarab bu qarshilikka mos temperatura hisoblab chiqariladi. Keling endi (4) formulaga qarshilikning (5) ifodasini kiritamiz:

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

bu yerda  $\frac{1}{\rho} = \gamma$  o'tkazgich moddasining solishtirma o'tkazuvchanligi. Potensial (kuchlanish) gradiyenti  $\frac{U}{l} = E$  o'tkazgichdagi elektr maydon kuchlanganligi ekanligi  $\frac{I}{S} = j$  tok zichligi (o'tkazgichning ko'ndalang kesim yuza birligidan o'tuvchi tok) ekanligini hisobga olgan holda quyidagi munosabatni hosil qilamiz:

$$\vec{j} = \gamma \vec{E}. \quad (8)$$

O'tkazgich ichida joylashgan ixtiyoriy nuqtadagi tok zichligini shu nuqtadagi elektr maydoni kuchlanganligi bilan bog'laydigan bu munosabat differensial shakldagi Om qonuni deb ataladi.

Endi qarshiligi  $R$  va  $\phi_1 - \phi_2 = U$  kuchlanishda bo'lgan o'tkazgichda o'zgaras tok bajargan ishni aniqlaymiz. Tok  $q$  zaryadning elektr maydoni ta'sirida ko'chishidan iborat bo'lgani uchun bajarilgan ishni quyidagi munosabatdan aniqlash mumkin:

$$A = qU.$$

(1) formulani va Om qonuni (4) ni nazarga olib, tokning ishi uchun quyidagi ifodalarni yozish mumkin:

$$A = IUt, \quad (9)$$

$$A = I^2 R t, \quad (9')$$

$$A = \frac{U^2}{R} t, \quad (9'')$$

bu yerda  $t$  – tok ishi hisoblanayotgan vaqt. Bu tengliklarning har ikki qismini  $t$  vaqtga bo'lib, o'zgaras tok quvvati  $N$  ning tegishli ifodalarini chiqaramiz:

$$N = IU, \quad (10)$$

$$N = I^2 R, \quad (10')$$

$$N = \frac{U^2}{R} \quad (10'')$$

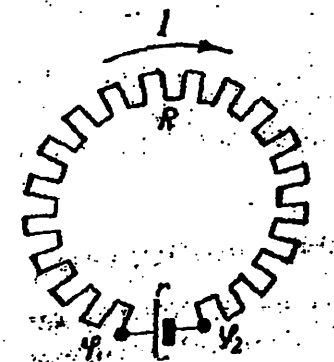
Agar tok kuchi Amperlarda, kuchlanish Voltlarda, qarshilik Omlarda va vaqt sekundlarda o'lchansa, tokning ishi Joullarda, quvvati esa Vattlarda ifodalanadi.

Tajribalarning ko'rsatishidan ma'lumki, tok hamma vaqt o'tkazgichni qizdiradi. Uning qizishiga sabab shuki, o'tkazgich bo'ylab tartibli harakatlanayotgan erkin elektronlarning kinetik energiyasi elektronlarning metall kristall panjarasi ionlari bilan to'qnashishlarida issiqlikka aylanishi natijasidir. Agar o'tkazgichda  $U$  kuchlanish tushishi faqat o'tkazgichning qarshiligi tufayli bo'lsa, tokning bajargan butun ishi bu o'tkazgichni (va atrof muhitni) qizdirishga sarf bo'ladi. Bu holda o'tkazgichdan ajralib chiqayotgan issiqlik miqdori  $Q$  quyidagi tengliklardan aniqlanadi:

$$Q = A = IUt = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t. \quad (11)$$

Bu munosabatlar Joule-Lens qonunini ifodalaydi. Bu qonun birinchi marta tajriba yo'li bilan ingliz va rus olimlari Joule (1843 yilda) va E.X.Lens (1844 yilda) tomonidan aniqlangan.

Berk elektr zanjirida tok manbaining elektr yurituvchi kuchi bilan  $I$  tok kuchi orasidagi bog'lanishni aniqlaymiz (13-rasm).



13-rasm.

Tok manbai qutblarini birlashtiruvchi o'tkazgichning qarshiligi  $R$  tashqi qarshilik, tok manbaining o'zini qarshiligi  $r$  esa ichki qarshilik deb ataladi. (2) formulaga muvofiq

$$\varepsilon = U + \frac{A'}{q}, \quad (12)$$

bu yerda  $\varphi_1 - \varphi_2 = U$  tashqi qarshilikdagi kuchlanish,  $A'$  - ko'chirishda bajarilgan ish, ya'ni tokning  $r$  ichki qarshilikdagi ishi.  $U$  holda (9') formulaga muvofiq,  $A' = I^2 r t$ . Ishning bu ifodasini (12) formulaga qo'yib va  $q = It$  hamda  $U = IR$  ekanligini hisobga olgan holda quyidagicha yozishimiz mumkin:

$$\varepsilon = IR + \frac{I^2 r t}{It},$$

**bundan**

$$\varepsilon = IR + Ir \quad (13)$$

Om qonuni (4) ga ko'ra,  $IR$  va  $I_r$  ko'paytmalar mos ravishda zanjirning tashqi va ichki qismlarida kuchlanish tushishidan iborat, shuning uchun (13) munosabatni shunday izohlash mumkin: berik elektr zanjirida tok manbaining elektr yurituvchi kuchi zanjirning hamma qismlaridagi kuchlanish tushishlarining yig'indisiga teng.

(13) munosabatni quyidagi ko‘rinishga keltirib,

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}, \quad (14)$$

berk elektr zanjiri uchun Om qonuni ifodasini hosil qilamiz; ya'ni yopiq zanjirda tok kuchi shu zanjirdagi elektr yurituvchi kuchi ( $\mathcal{E}$ ) ga to'g'ri, zanjirning to'la qarshiligi ( $R + r$ ) ga teskari proporsionaldir. Agar elektr yurituvchi kuch...

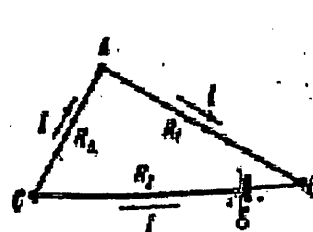
Agar elektr yurituvchi kuch  $\varepsilon$  va ichki qarshiligi  $r$  bo'lgan tok manbaiga ketma-ket bir necha  $R_1, R_2, R_3$  va hokazo tashqi qarshiliklar ulangan bo'lsa, u holda Om qonuni (13) ga ko'ra bunday zanjirdagi tok kuchi quyidagiga teng bo'ladi:

$$I = \frac{E}{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + r}$$

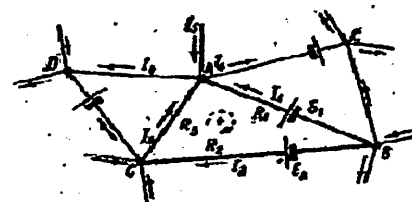
Bunda  $R_1 + R_2 + R_3 + \dots + r$  yig'indi zanjirning to'la qarshiligi bo'ladi. Shunday qilib, bir necha ketma-ket ulangan o'tkazgichlardan tuzilgan zanjirning to'la qarshiligi alohida o'tkazgichlar qarshiliklarining yig'indisiga teng.

### 9-§. Tarmoqlangan elektr zanjiri. Kirxgof qonunlari

Shu vaqtgacha biz faqat birgina berk konturdan iborat eng sodda elektr zanjirlarini ko'rdik (14-rasm). Bunday zanjirlar *tarmoqlanmagan* zanjirlar deyiladi. *Tarmoqlanmagan zanjirning barcha qismlarida tok kuchi bir xil bo'ladi*. Tarmoqlanmagan zanjirlar parametrlarini (4) va (14) formulalar yordamida oson hisoblash (ya'ni tok kuchini, E.Yu.K. ni va qarshiligini aniqlash) mumkin.



**14-rasm.**



**15-rasm.**

Tarmoqlangan elektr zanjiri ancha murakkab bo'radi. Bunday zanjir *umumiy qismlari* bo'lgan bir necha berk (*ABCA, ACDA* va hokazo) o'tkazuvchan konturlardan tuzilgan bo'ladi; har bir konturda bir necha tok manbai bo'lishi mumkin (15-rasm). *Tarmoqlangan zanjir berk konturining alohida qismlarida tok kuchlari kattalik jihatdan ham, yo'nalish jihatdan ham turlicha bo'lishi mumkin* (masalan, AVSA konturga qarang). Tarmoqlangan zanjirni Om qonunlariga ko'ra bevosita hisoblash qiyin va uzoq vaqt talab qiladi, biroq Kirxgof qoidalarini qo'llab bunday hisoblashlarni soddalashtirish mumkin (bu qoidalarni Kirxgof 1847 yilda aniqlagan edi).

Zanjirning *uchtadan kam bo'lmagan o'tkazgichlari birlashadigan* (masalan, 15-rasmdagi A nuqta) nuqtalarini *tarmoqlanish tugunlari* deb ataymiz. Bunda tugunga keluvchi tokni musbat, tugundan

ketayotgan tokni manfiy deb hisoblaymiz. Kirxgofning birinchi qoidasiga ko'ra, tarmoqlanish tugunidagi toklarning algebraik yig'indisi nolga teng:

$$\sum_{i=1}^N I_i = 0. \quad (15)$$

(15) munosabat o'zgarmas tok bo'lganda tugunlarda zaryadlarning to'planmasligini (ya'ni tugunlardagi potentsiallarning o'zgarmasligini) bildiradi. Demak, tugunga vaqt birligi ichida bir xil elektr miqdori kiradi va undan chiqadi (zaryadlarning saqlanish qonuni).

A tugunga qo'llaganda Kirxgofning birinchi qoidasi shunday yoziladi:

$$I_1 + I_3 - I_4 + I_5 - I_6 = 0.$$

Kirxgofning ikkinchi qoidasi tarmoqlangan zanjirning berk konturlariga tegishli. Konturni soat strelkasi yo'nalishida aylanishni musbat yo'nalish deb shartlashamiz. AVSA kontur uchun musbat yo'nalish uzoq strelka bilan ko'rsatilgan. Musbat aylanish yo'nalishida oquvchi toklarni musbat, qarama-qarshi toklarni manfiy deb hisoblaymiz. Xuddi shuningdek, elektr yurituvchi kuchlarni ham agar ular konturni musbat aylanish yo'nalishida tok hosil qilsalar musbat, teskari yo'nalishda tok hosil qilsalar manfiy ishora bilan belgilaymiz. U holda Kirxgofning ikkinchi qoidasiga ko'ra,

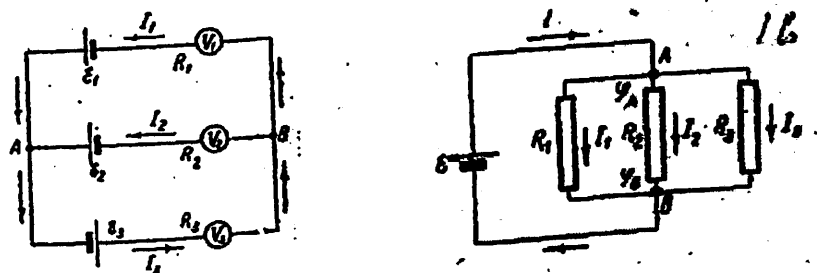
tarmoqlangan zanjirning berk konturida elektr yurituvchi kuchlarning algebraik yig'indisi tok kuchining bu konturning tegishli qismlari qarshiliklariga ko'paytmalarining algebraik yig'indisiga teng:

$$\sum_{k=1}^N \mathcal{E}_k = \sum_{i=1}^N I_i R_i \quad (16)$$

Shunday qilib, (16) munosabat, Om qonunini bir necha tok manbalari bo'lgan tarmoqlangan zanjir konturlari uchun umumlash-tirishdir. Shu narsani aytish kerakki, Kirxgofning ikkinchi qoidasini o'zgaruvchan tok zanjiriga ham tatbiq qilish mumkin.

Tarmoqlangan zanjirni hisoblashda Kirxgof qoidalaridan foyda-lanib, bir necha tugunlar uchun (15) va konturlar uchun (16) mustaqil

tenglamalarni tuzib olish kerak; tenglamalar soni izlanayotgan kattaliklar (tok kuchlari, e.y.k. va qarshiliklar) soniga teng bo'lishi kerak. Mustaqil tenglamalarni tuzish uchun shunday konturlardan foydalanish kerakki, ular loaqal biror qismlari bilan yoki shunday tugunlardan foydalanish kerakki, ular loaqal bir tok kuchi bilan farq qilsin. Izlanayotgan tok kuchlarining yo'nalishi ixtiyoriy tanlanadi. Agar tok kuchlarining biri uchun qabul qilingan yo'nalish haqiqiy yo'nalishga to'g'ri kelmasa, Kirxgof qoidalari bo'yicha hisoblashda bu tok kuchi manfiy chiqadi. Kirxgof qoidalaridan foydalanib, parallel ulangan bir necha (masalan, uchta) o'tkazgichdan tuzilgan zanjirning qarshiligini hisoblash oson (16-rasm).



16-rasm.

E.Y.k. bo'lmagan  $AR_2BR_1A$  kontur uchun shunday yozish mumkin:

$$I_2 R_2 - I_1 R_1 = 0,$$

bundan

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}. \quad (17)$$

Binobarin, parallel ulangan o'tkazgichlarda tok kuchlari o'tkaz-gichlarning qarshiliklariga teskari proporsional ekan. A tugun uchun

$$I = I_1 + I_2 + I_3,$$

biroq Om qonuni (4) ga asosan,

$$I = \frac{U}{R}, \quad I_1 = \frac{U}{R_1}, \quad I_2 = \frac{U}{R_2}, \quad \text{va} \quad I_3 = \frac{U}{R_3},$$

bu yerda  $U = \varphi_A - \varphi_B$  o'tkazgichlarga qo'yilgan kuchlanish.  $R$  – parallel ulangan o'tkazgichlarning to'la qarshiligi.  $U$  holda shunday tenglikni yozish mumkin:

bundan 
$$\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3},$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}.$$

Bu xulosa ixtiyoriy sondagi o'tkazgichlar uchun ham o'rinalidir.

$$\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}, \quad (18)$$

ya'ni *parallel ulangan o'tkazgichlarning to'la o'tkazuvchanligi alohida olingan o'tkazgichlarning o'tkazuvchanliklari yig'indisiga teng*. Shunday qilib, bir necha o'tkazgichlarni parallel ulaganda ularning *umumiy o'tkazuvchanligi* har bir alohida o'tkazgichning o'tkazuvchanligidan katta, *umumiy qarshiligi* esa har bir alohida o'tkazgichning qarshiligidan kichik bo'ladi.

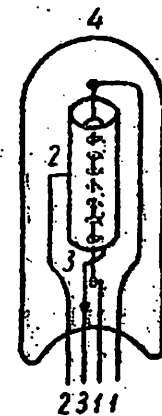
#### 10-§. Elektronlar emissiyasi. Termoelektron emissiya. Elektron lampalar

Metallarda hamma vaqt yuqori kinetik energiyaga ega bo'lgan va shuning uchun undan tashqariga chiqa oladigan biror miqdordagi erkin elektronlar bo'ladi. So'ngra bu uchib chiqqan elektronlarni yana metallga tortib olish mumkin, biroq ularning o'rniga boshqa erkin elektronlar uchib chiqadi. Metalldan uchib chiqayotgan va unga uchib kirayotgan elektronlar orasida harakatchan muvozanat qaror topadi, buning natijasida metall sirtida o'ziga xos *elektron buluti* hosil bo'ladi. Metallning elektron chiqarishi *elektron emissiya* deyiladi.<sup>1</sup> Termoelektron emissiyaning asosiy qonuniyatlari bilan biz vakuumli elektron lampaning tuzilish va ishlash prinsipini o'rganishda tanishamiz. Uch elektrodli lampa-Triod ichiga uchta

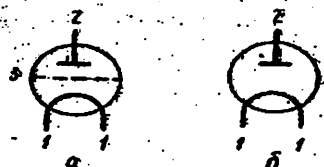
<sup>1</sup> emission so'zi lotincha so'z bo'lib, chiqarish degan ma'noni bildiradi.

metall elektrod: ingichka 1 tola (katod yoki cho'g'lanma tola), yupqa devorli (2) silindr (anod) va ular orasiga joylashtirilgan siyrak "spiral" 3 (to'r) o'qsimon qilib mahkamlangan 4 shisha ballondan iborat. Ballonning havosi so'rib olingan. Diodning trioddan farqi shuki, unda to'r bo'lmaydi. Elektro va radiotexnika sxemalarida elektron lampalar 18-rasmda (a–triody, b–diody) ko'rsatilganidek tasvirlanadi.

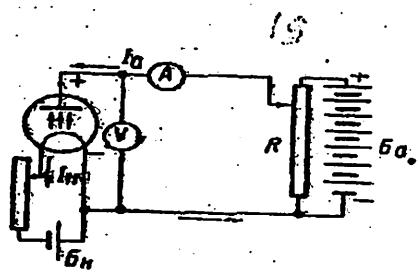
Elektron lampaning ishlash prinsipini dastlab diody misolida ko'ramiz. Diodni 19-rasmda sxematik tasvirlangan elektr zanjiriga ulaylik ( $B_n$  – nakal batareyasi,  $B_a$  – anod batareyasi). Nakal toki  $I_n$  bilan qizdiriladigan katod atrofida elektron buluti hosil bo'ladi. Anod kuchlanishi  $U_a$  (bu kuchlanish katod va anod orasiga qo'yilgan) hosil qiladigan elektr maydoni ta'sirida bu bulutning elektronlari anodga intiladi va zanjirda  $I_a$  anod toki hosil qiladi (anod kuchlanishi  $V$  voltmetr bilan, anod toki esa  $mA$  milliampermetr bilan o'lchanadi). Ravshanki,  $U$  kuchlanishni oshirib ( $R$  potensiometr yordamida) anod tokini kuchaytirish mumkin, chunki bunda lampada elektronlarning harakat tezligi ortadi. Biroq tokni bunday kuchaytirish imkoniyatlari cheklangan. Kuchlanishning biror  $U_m$  qiymatida anod toki maksimal kattalikka erishadi va kuchlanishning bundan keyingi ortishida  $I_m$  ga teng bo'lganicha o'zgarmay qoladi. Bu hodisa *to'yinish* deyiladi,  $I_m$  tok esa *to'yinish toki* deyiladi. To'yinishda biror vaqt oralig'ida katoddan chiqarilgan elektronlarning barchasi shu vaqt oralig'ining o'zida anodga yetib keladi. To'yinish tokida elektron buluti batamom "so'rilib" ketadi. Anod tokining kuchlanishga bunday bog'lanishi 20-rasmda grafik ravishda ko'rsatilgan.



17-rasm.



18-rasm.

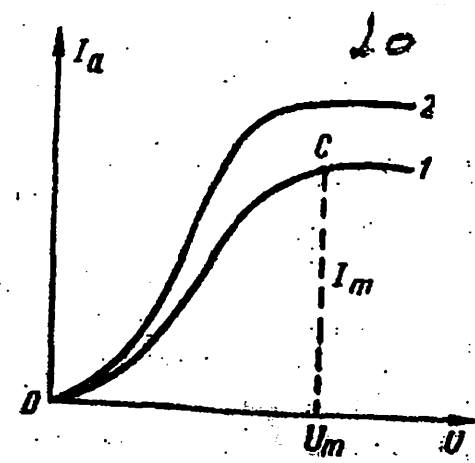


19-rasm.

Bu bog'lanish analitik holda (1 egri chiziqning  $OS$  uchastkasi, ya'ni  $U < U_m$  bo'lgan shart uchun) Lengmyur-Boguslavskiy formulasi bilan ifodalanadi:

$$I_a = BU^{\frac{3}{2}}, \quad (19)$$

bu yerda  $B$  – elektrodning shakli, o'lchamlari va o'zaro joylashishiga bog'liq o'zgarmas koeffitsiyent.



20-rasm.

To'yinish tokini kuchaytirish uchun katodning vaqt birligida chiqarayotgan elektronlari sonini o'ttirish kerak. Buning uchun cho'g'lanish tokini kuchaytirib, katod temperaturasi o'ttirish kerak. 20-rasmdagi 2 egri chiziq 1-chiziqqa qaraganda katodning balandroq temperaturasi to'g'ri keladi.

To'yinish tokining katod temperaturasi bog'liqligi **Richardson - Deshmanning** nazariy formulasi bilan ifodalanadi.

$$I_m = A_0 S T^2 e^{\frac{F}{kT}}, \quad (20)$$

bu yerda  $S$  – katod sirtining yuzasi,  $T$  – katodning absolyut temperaturasi,  $F$  – elektronlarning katoddan chiqish ishi,  $e$  – natural logarifmlarning asosi,  $k$  – Bolsman doimiysi,  $A_0$  – emissiya doimiysi bo'lib, uning nazariy qiymati barcha metallar uchun bir xil va  $A_0 = 120,4 A / (m^2 \cdot grad^2)$  ga teng bo'lib Zommerfeld doimiysi deyiladi.

Shu narsani aytib o'tish kerakki, elektron lampada tok faqat bir yo'nalishda o'ta oladi, ya'ni anod  $B_a$  anod batareyasining musbat qutbiga, katod esa manfiy qutbga ulangandagina o'ta oladi (19-rasmga qarang). Agar anod batareyaning manfiy qutbga ulansa, u holda katod chiqarayotgan elektronlar anoddan itariladi va katodga qaytadi; zanjirdan tok o'tmaydi – lampa “berk” bo'ladi. Shunday qilib, elektron lampa *bir tomonlama (ventil)* o'tkazuvchidir. Lampaning o'zgaruvchan tok to'g'rilagichi sifatida ishlatilishi shu prinsipga asoslangan. Bu maqsad uchun mo'ljallangan diod-lampalar *kenotronlar* deyiladi.

### 11-§. Yarimo'tkazgichlarda elektr toki. Yarimo'tkazgichlarning xususiy va aralashmali elektr o'tkazuvchanligi

Tajriba ma'lumotlari shuni ko'rsatadiki, metall o'tkazgichlarning solishtirma qarshiligi  $10^{-8} Om \cdot m$  tartibida (va undan kam), dielektriklarniki esa  $10^8 Om \cdot m$  tartibida (va undan ortiq) bo'lishi mumkin ekan. Ayrim moddalarning solishtirma qarshiligi esa bu chegaralar orasida bo'ladi. Bunday moddalar yarimo'tkazgichlar deyiladi. Yarimo'tkazgichlarning tipik vakillari kremniy, germaniy, selen, tellur va boshqalardir.

Metallardagi singari yarimo'tkazgichlarning o'tkazuvchanligi elektronlarning harakati bilan bog'liqdir. Biroq elektronlarning harakatlanish sharoitlari metallarda va yarimo'tkazgichlarda turlicha bo'ladi, buni xususan yuqorida biz aytib o'tgan metallar



va yarimo'tkazgichlarda solishtirma qarshilik qiymatining keskin farq qilishi ham ko'rsatib turibdi. Metallardan farq qilib, yarimo'tkazgichlarning quyidagi asosiy xususiyatlari mavjud.

Birinchidan, yarimo'tkazgichlarning qarshiligi temperatura ortishi bilan kamayishi kuzatiladi.

Ikkinchidan, yarimo'tkazgichlarda elektr toki faqat erkin elektronlarning tartibli harakati bilan emas, shu bilan birga qandaydir "kovaklar" harakati bilan ham yuzaga keladi. Ba'zi sharoitlarda yarimo'tkazgichlarning o'tkazuvchanligida "kovaklar" harakati hal qiluvchi rol o'ynaydi.

Uchinchidan, ozgina aralashma miqdori yarimo'tkazgichning qarshiligini keskin o'zgartirib yuborishi mumkin. Protsentning yuzdan bir ulushicha aralashma yarimo'tkazgich qarshiligini o'ng minglab marta o'zgartirishi mumkin.

Ba'zi soddalashtirilgan tasavvurlar va "modelli" sxemalar yordamida yarimo'tkazgichlarning ba'zi xususiyatlarini aniqlaymiz.

Past va meyoriy temperaturalarda yarim o'tkazgichlarda erkin elektronlar konsentratsiyasi kam, elektronlarning ko'pchilik qismi atomlar bilan bog'langan holda bo'ladi. Yarimo'tkazgichlarning o'tkazuvchanligi kichik (solishtirma qarshiligining katta) bo'lishiga asosiy sabab ham shudir. Yarimo'tkazgichlardagi erkin elektronlarning ozchilik qismi metallardagi erkin elektronlarga o'xshash tabiatga ega bo'ladi. Elektr maydoni bo'lmaganda ular xaotik harakatlanadi, maydon bo'lganida yana (maydonga qarshi) yo'nalishli harakatga kelishi va buning natijasida yarimo'tkazgichda zaif tok hosil qilishi mumkin. Erkin elektronlarning harakatidan yuzaga keladigan o'tkazuvchanlik *elektron* o'tkazuvchanlik, yoki *n-tip o'tkazuvchanlik* (negative-manfiy so'zidan olingan) deyiladi.

Bog'langan elektron erkin bo'lishi uchun uning kinetik energiyasini oshirish kerak. Shu maqsadda uning atom bilan bog'lanishidan ozod qilishga yetarli (yoki undan katta) ishga teng bo'lgan tashqaridan energiya berish kerak, masalan, yarimo'tkazgichni qizdirish yo'li bilan shunday qilish mumkin. Binobarin, temperatura ko'tarilishi bilan yarimo'tkazgichdagi erkin elektronlar soni ortadi.

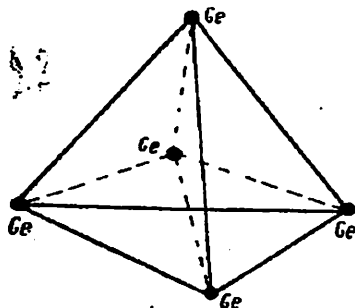
Erkin elektronlar konsentratsiyasining ortishi yarimo'tkazgich elektr o'tkazuvchanligini oshiradi va shunga muvofiq yarimo'tkazgich qarshiligini kamaytiradi. To'g'ri, temperaturaning ortishi bilan

yarimo'tkazgich atomlarining xaotik harakati zo'rayadi va bu bilan elektronlarning tartibli harakatini qiyinlashtirib va yarim o'tkazgich qarshiligini oshiradi. Biroq erkin elektronlar konsentratsiyasining ortishining yarimo'tkazgich qarshiligiga ta'siri atomlarning xaotik harakatining zo'rayishi ta'siridan kuchliroq bo'ladi. Shuning uchun temperatura ko'tarilishi bilan yarim o'tkazgichning qarshiligi kamayadi.

Yarimo'tkazgich solishtirma qarshiligining yuqori bo'lishi va uning qarshiligining temperaturaga keskin bog'lanishi o'lchamlari juda kichik bo'lgan va metall elektr qarshilik termometrlariga qaraganda juda katta sezgirlikka ega bo'lgan yarimo'tkazgichli qarshilik termometrlarini yasashga imkon beradi. Yarimo'tkazgichli qarshilik termometri *termistor* deb ataladi. Termistorning issiqlikka teguvchi qismining o'lchamlari millimetrlarning o'ndan bir ulushlaricha kichik bo'ladi. Bu termistor yordamida juda kichik obyektlar, masalan, o'simlik va jonli organizmlarning ayrim kichik (amalda nuqtaviy) qismlarining temperaturasini o'lchashga imkon yaratadi. Termistorlar yordamida modda temperaturasining gradusning milliondan bir ulushlaricha o'zgarishlarini aniqlash mumkin. Termistorlar sezgirligi shunday yuqori bo'lgani uchun u yorug'likning oqimi o'zgarishini sezishi mumkin. Yoritish intensivligini o'lchash uchun mo'ljallangan maxsus termistorlar *fotoqarshiliklar* deyiladi.

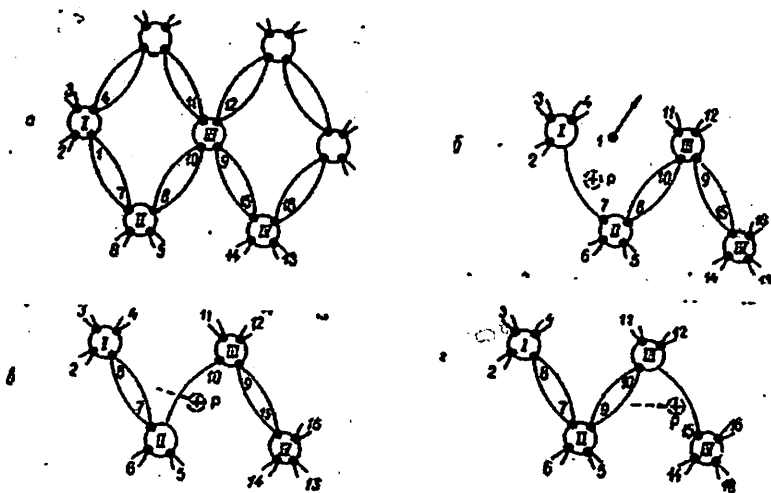
Biz ko'rib o'tgan elektron o'tkazuvchanlikdan tashqari, yarim o'tkazgichlar uchun bog'langan elektronlarning ko'chishi bilan bog'liq bo'lgan yana bir tur o'tkazuvchanlik xarakterlidir. Birinchi qarashda g'alati tuyulgan bu hodisani tushunish uchun kristall yarim o'tkazgichning qo'shni atomlari o'zaro tashqi (valent) elektronlar bilan bog'langanligini nazarda tutish kerak. Ikki elektronli bog'lanish eng mustahkam bog'lanishdir, bunda har ikki qo'shni atom tashqi elektron qobig'ida ikkitadan umumiy elektronga ega bo'ladi. Masalan, germaniyni ko'raylik. Germaniy kristall panjarasi tuzilishi markazlashgan qirrali kub shaklidir (kremniy va olmosning panjaralari ham shu xilda bo'ladi). Bunday panjarada germaniy atomining har biri tetraedr (tomonlari uchburchakdan iborat bo'lgan to'g'ri to'rt yoqli) ning markazida bo'lib, uning uchlarida germaniyning yaqin to'rtta atomi joylashgan (21-rasm).

Germaniy to'rt valentli element bo'lib, uning atomi to'rtta tashqi valent elektronga ega va ulardan har biri ayni vaqtda germaniyni to'rtta qo'shni atomlaridan biriga ham tegishlidir.



21-rasm.

Germaniy atomlari orasidagi elektron bog'lanishlarning tekislikdagi sxemasi 22-a rasmda ko'rsatilgan. Doirachalar bilan germaniy atomlari (rim raqamlari bilan nomerlangan), nuqtalar bilan tashqi elektronlar (arab raqamlari bilan nomerlangan), chiziqlar bilan atomlarning elektron bog'lanishlari belgilangan (har bir chiziq bir elektron bilan bo'layotgan bog'lanishni bildiradi).

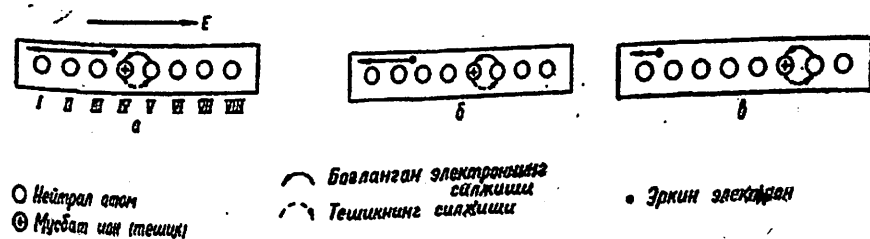


22-rasm.

Tashqi faktorlar ta'siri (qizdirish, yoritish va hokazo) tufayli I-II atomlar bog'lanishidan I elektron ozod bo'lgan deylik (22-a rasm). Elektronning ketishi sobiq bog'lanish sohasida elektron zaryadiga kattalik jihatdan teng bo'lgan  $p$  musbat zaryadning paydo bo'lishiga teng kuchlidir. Elektronning ozod bo'lishida (bog'lanishning uzilishida) hosil bo'lgan bunday musbat zaryadni yarim o'tkazgichlar nazariyasida "kovak" deb atash odat bo'lgan. Shunday qilib, elektron ozod bo'lishi bilan bir vaqtda kovak hosil bo'ldi. Uzilgan bog'lanish qo'shni bog'lanishning ixtiyoriy bog'langan elektroni hisobiga, masalan, II-III atomlar bog'lanishidagi 8 elektronning o'tishi hisobiga oson tiklanishi mumkin (22-v rasm). 8 elektronning o'tishi hisobiga oson tiklanishi mumkin (22-v rasm). I-II bog'lanish uzilishida o'tishida II-III bog'lanishga kovak o'tadi. Uzilgan II-III bog'lanish o'z navbatida 9 bog'langan elektronning o'tishi hisobiga tiklanishi mumkin, ayni vaqtda kovak ko'chadi (22-g rasm) va hokazo.

Shunday qilib, uzilgan bog'lanishlar (teshiklar) bo'lganda yarim o'tkazgichda bog'langan elektronlarning bir qo'shni bog'lanishdan ikkinchisiga va ayni vaqtda teshiklarning qarama-qarshi yo'nalishda o'tishlari (sakarashlari) boshlanadi. Tashqi elektr maydoni bo'lmaganda bu o'tishlar xaotik holda bo'ladi. Maydon bo'lganida xaotik harakat tartiblashadi: bog'langan elektronlar maydonga qarshi, kovaklar esa maydon bo'ylab ko'chadi. Kovaklarning tartiblashgan harakati yarimo'tkazgichda tok hosil qiladi. Kovaklarning ko'chishi bilan bog'liq bo'lgan o'tkazuvchanlik kovakli o'tkazuvchanlik yoki  $p$ -tip o'tkazuvchanlik (positive-musbat so'zidan olingan) deyiladi.

Elektron vakovako'tkazuvchanlik jarayonlari yanada tushunarliroq bo'lishi uchun ularni kattaroq sxemalashtirilgan modellar yordamida ko'rsatish mumkin (23-rasm).



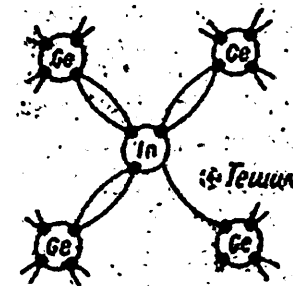
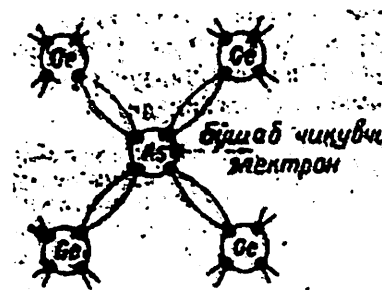
23-rasm.

Yarimo'tkazgich  $\bar{A}$  kuchlanganlikli elektr maydonida turibdi deb faraz qilaylik. IV atomdan chiqqan elektron ozod bo'ladi va maydonga qarama-qarshi yo'nalishda "to'xtovsiz" harakatlanadi. Bu elektron o'tkazuvchanlik. Elektronni yo'qotgan IV atom musbat ion-kovakka aylanadi (23-rasm). Bu ionga o'ng tomondagi qo'shni neytral V atomdan bog'langan elektron qo'shiladi, buning natijasida V atomda kovak vujudga keladi (23-b rasm). So'ngra V kovakni VI atomdan o'tgan bog'langan elektron to'ldiradi, ayni vaqtda u VI atomda kovak hosil qiladi (23-v rasm). So'ngra VII atomda kovak hosil bo'ladi va hokazo. Kovaklarning maydon yo'nalishida (yoki xuddi shunday bog'langan elektronlarning maydonga qarama-qarshi yo'nalishda) harakati kovakli o'tkazuvchanlikka mos keladi.

Erkin elektronlarning va kovaklarning birgalikdagi (yig'indi) harakati yarimo'tkazgichda tok vujudga keltiradi. Elektronning ozod bo'lishida teshik hosil bo'lgani uchun yarimo'tkazgichda erkin elektronlar soni kovaklar soniga teng bo'ladi. Tajribalar va hisoblash natijalari erkin elektronlar va kovaklarning tahminan bir xil tezlik bilan harakatlanishini ko'rsatadi. Shuning uchun yarimo'tkazgichdagi tok ayni vaqtda ham elektron, ham kovak o'tkazuvchanlikdan vujudga keladi. Bunday elektron-kovakli o'tkazuvchanlik yarimo'tkazgichda *xususiy (o'z) o'tkazuvchanlik yoki sof o'tkazuvchanlik* deyiladi.

Sof yarimo'tkazgichlarda xususiy o'tkazuvchanlik bo'ladi. Biroq juda sof yarimo'tkazgichlar tabiatda deyarli yo'q, ularni barcha aralashmalardan sun'iy ravishda tozalash esa juda murakkab (amalda mumkin emas). Holbuki, yarimo'tkazgichda ozgina aralashmaning bo'lishi *aralashmali o'tkazuvchanlik* hosil qilib, uning o'tkazuvchanligiga juda katta ta'sir ko'rsatadi. Ba'zi aralashmalar yarimo'tkazgichni erkin elektronlar bilan boyitadi va unda elektron o'tkazuvchanlikni oshiradi. Bunday aralashmalar *donor* (beruvchi) aralashmalar deb, yarimo'tkazgichlar esa *elektron*, yoki *n*-tip aralashmalar deyiladi. Ba'zi aralashmalar esa yarimo'tkazgichni teshiklar bilan boyitadi va unda teshikli o'tkazuvchanlikning rolini oshiradi. Bunday aralashmalar *akseptor* aralashmalar (qabul qiluvchi) deb, yarimo'tkazgichlar esa *kovakli* yarimo'tkazgichlar yoki *p*-tip yarimo'tkazgichlar deb ataladi. Bayon qilinganlarni yana germaniy misolida tushuntiraylik.

Germaniyga beshinchi grupp elementini, masalan mishyakning ozgina miqdorini kiritaylik. Mishyakning har bir atomi o'zining to'rtta tashqi elektronlari bilan qo'shni germaniyning to'rtta atomi bilan bog'lanadi. Mishyakning beshinchi tashqi valent elektroni "ortiqcha" bo'lib, atomlararo bog'lanishlarda qatnashmay qoladi (24-a rasm).



24-rasm.

Issiqlik harakati ta'sirida yoki biror boshqa ta'sir tufayli bu elektronning erkin elektron bo'lib qolishi oson. Amalda kiritilgan mishyakning har bir atomi yarimo'tkazgichda bittadan erkin elektron hosil qiladi (0,001% mishyak aralashmasi germaniydagi elektron hosil qiladi (1000 marta oshiradi!)). Shunisi erkin elektronlar sonini taxminan 1000 marta oshiradi, chunki "ortiqcha" diqqatga sazovorki, bunda teshiklar soni ortmaydi, chunki "ortiqcha" elektronlarning ozod bo'lishi atomlararo bog'lanishlarni uzmaydi. Natijada germaniy erkin elektronlar bilan boyiydi; aralashmali elektron o'tkazuvchanlik bunda *asosiy* o'tkazuvchanlik bo'lib qoladi. Germaniy *aralashmali elektron yarim o'tkazgichga* aylanib qoladi.

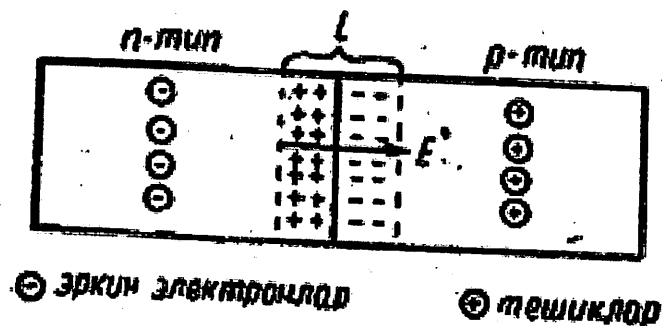
Endi, masalan, germaniyga oz miqdorda uch valentli element-indiy kiritaylik. Indiyning har bir atomi o'zining tashqi elektronlari bilan, germaniyning uchta qo'shni atomlari bilan mustahkam bog'lanadi. Germaniyning to'rtinchi atomi bilan bog'lanish mustahkam bo'lmaydi, chunki indiyda to'rtinchi tashqi elektron yo'q (24-b rasm). Shuning uchun kiritilgan indiyning har bir atomi yarim o'tkazgichda bittadan kovak hosil qiladi. Endi shunisi diqqatga sazovorki, bunda erkin elektronlar soni ortmaydi. Natijada germaniy kovaklar bilan boyiydi; unda aralashmali kovakli o'tkazuvchanlik *asosiy* bo'lib

qoladi. Germaniy aralashmali teshikli yarim o'tkazgichga aylanib qoladi.

Shunday qilib, yarimo'tkazgichga oz miqdorda tegishli aralashmalarni kiritish yo'li bilan yarimo'tkazgichning o'tkazuvchanligini keng chegaralarda oshirish, hatto o'tkazuvchanlik turini ham o'zgartirib yuborish mumkin ekan. Avvaldan berilgan aralashmali yarimo'tkazgichlar tayyorlash yarimo'tkazgichlar ishlab chiqarishning eng muhim tarmog'i hisoblanadi hamda katta amaliy ahamiyatga egadir.

## 12-§. Berkituvchi qatlam. Yarimo'tkazgichli to'g'rilagichlar, kuchaytirgichlar va termoelektr batareyalari

Turli tip elektron ( $n$ ) va teshikli ( $p$ ) o'tkazuvchanlikli ikki yarimo'tkazgichning kontakt zonasi joyida juda muhim hodisa bo'ladi. Ularning birinchisida erkin elektronlar konsentratsiyasi, ikkinchisida esa kovaklar konsentratsiyasi yuqori bo'lgani uchun yarimo'tkazgichlarning tegishish sirtlari orqali erkin elektronlarning elektron yarimo'tkazgichdan teshikli yarimo'tkazgichga ( $n \rightarrow p$ ) diffuziyasi va kovaklarning qarama-qarshi yo'nalishdagi diffuziyasi ( $p \rightarrow n$ ) ro'y beradi. Natijada chegara qatlam  $p$ -yarimo'tkazgich tomonidan manfiy zaryadlanadi,  $n$ -yarimo'tkazgich tomonidan esa musbat zaryadlanadi, ya'ni kontakt zonasida "qo'sh elektr qatlam" hosil bo'ladi (25-rasm).



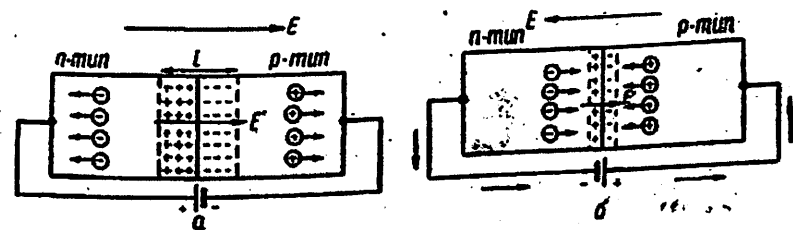
25-rasm.

Bu qatlamda hosil bo'ladigan  $E'$  kuchlanganlikli elektr maydoni, ravshanki, elektronlarning  $n \rightarrow p$  yo'nalishda, kovaklarning esa  $p \rightarrow n$  yo'nalishda endigi o'tishiga to'sqinlik qiladi.

Natijada  $A'$  maydonning ma'lum bir qiymatida muvozanat yuzaga keladi, ya'ni elektronlar va kovaklarning ko'rsatilgan yo'nalishlarda ortiqcha o'tishi to'xtaydi.

Odatda qatlamning o'rtacha qalinligi  $l \approx 10^{-5} \text{ sm}$  tartibida bo'ladi, va bu qatlamda  $10^{-1} B$  ga yaqin kontakt potentsiallar ayirmasi yuzaga keladi. Bunday potentsiallar ayirmasini (potensial to'siqni) faqat kinetik energiyalari bir necha ming gradus temperaturaga mos keladigan darajada katta bo'lgan elektronlar va kovaklarga yengib o'ta olishlari mumkin. Normal temperaturada  $l$  qatlamdan o'tib bo'lmaydi, ya'ni elektronlarning  $n \rightarrow p$  va kovaklarning  $p \rightarrow n$  yo'nalishda o'tishiga potensial to'siq juda katta qarshilik ko'rsatadi. Shuning uchun  $l$  chegara qatlam berkituvchi qatlam deb ataladi.

Berkituvchi qatlam qarshiligini tashqi elektr maydoni ta'sirida o'zgartirish mumkin. Haqiqatan ham, elektron o'tkazuvchan yarimo'tkazgichga tok manbaining musbat, kovakli yarimo'tkazgichga manfiy qutblarini ulaylik (26-a rasm).



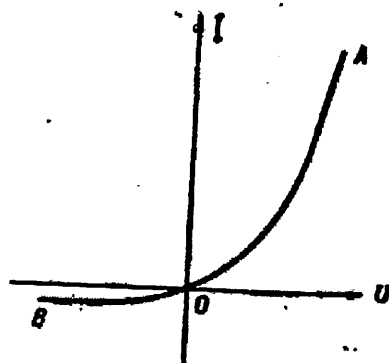
26-rasm.

U holda tashqi maydonning  $E$  kuchlanganligi  $E'$  kuchlanganlik yo'nalish bilan mos tushib, erkin elektronlar va kovaklarni yarimo'tkazgichlarning kontakt joylaridan yanada nariga surib yuboradi. Berkituvchi qatlam qalinligi kengayadi, uning qarshiligi ortadi. Kontakt orqali tok o'tmaydi. Aniqrog'i, kontakt orqali yarimo'tkazgichlarning xususiy o'tkazuvchanligidan yuzaga keluvchi zaif tok o'tadi, chunki tashqi maydon berkituvchi qatlam orqali asosiy bo'lmagan tok tashuvchilarning: erkin elektronlarning teshikli yarimo'tkazgichdan elektron yarimo'tkazgichga va teshiklarning

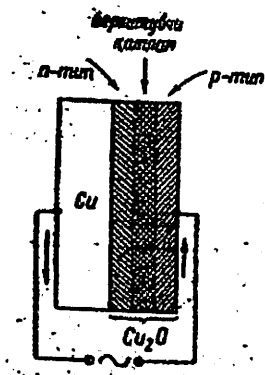
elektron yarimo'tkazgichdan teshikli yarimo'tkazgichga o'tishiga yordam beradi. Biroq erkin elektronlarning teshikli yarimo'tkazgichdagi va kovaklarning elektron yarimo'tkazgichdagi konsentratsiyasi juda kichik bo'ladi. Amalda tok o'tkazmaydigan  $n \rightarrow p$  yo'nalish berkituvchi yo'nalish deyiladi.

Berilgan tashqi kuchlanishning qutbini o'zgartiraylik (26-b rasm). Bunda tashqi elektr maydonning  $E$  kuchlanganligi  $E'$  kuchlanganlikka qarama-qarshi yo'nalgan bo'lib, erkin elektronlar va kovaklarni bir-biriga qarshi (uchrashuvchi) yo'nalishda ko'chiradi. Berkituvchi qatlam torayadi, uning qarshiligi kamayadi. Tashqi kuchlanishning biror aniq qiymatida berkituvchi qatlamning qarshiligi yarimo'tkazgichlarning o'zlarining qarshiliklariga teng bo'lib qoladi (berkituvchi qatlam yo'qoladi). Yarimo'tkazgichdan kuchli tok o'tadi. Tok o'tkazuvchi  $p \rightarrow n$  yo'nalish o'tkazuvchi yo'nalish deyiladi.

Shunday qilib, berkituvchi qatlam ventil o'tkazuvchanlik xossasiga ega ekan, bu xossasi undan lampali to'g'rilagichdagi diod singari, o'zgaruvchan tokni to'g'rilash uchun foydalanishga imkon beradi. Yarimo'tkazgichli diod orqali o'tgan tokning kuchlanishga bog'lanishi 27-rasmda berilgan.



27-rasm.



28-rasm.

Egri chiziqning  $OA$  tarmog'i o'tish tokiga,  $OV$ -tarmoq esa yarimo'tkazgichlarning o'ziga bog'liq bo'lgan zaif teskari tokka tegishli sohadir. Radiotexnikada mis II oksidli, selenli, germaniyli

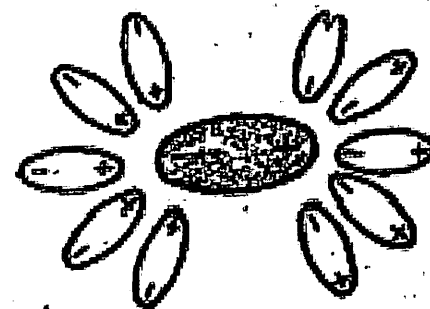
va kremniyli diodlar eng ko'p tarqalgan.

28-rasmda mis II oksidli to'g'rilagichning prinsipial sxemasi berilgan. Mis plastinka  $Cu$  ga mis II oksid  $Cu_2O$  ning qatlami surtilgan. Mis II oksid qatlamining mis plastinkaga tegib turgan qismi mis aralashmasi bilan boyiydi va elektron yarimo'tkazgich bo'lib qoladi. Mis II oksid qatlamining tashqi qismi (yarimo'tkazgichni tayyorlash protsessida) kislorod bilan boyitilgan va teshikli yarimo'tkazgich bo'lib qolgan. Shuning uchun mis II oksid qatlami qalinligida tokni mis II oksiddan mis tomonga yo'nalishda o'tkazuvchan ( $p \rightarrow n$ ) berkituvchi qatlam hosil bo'ladi.

### 13-§. Suyuqliklarda elektr toki. Elektroliz.

#### Faradey qonunlari

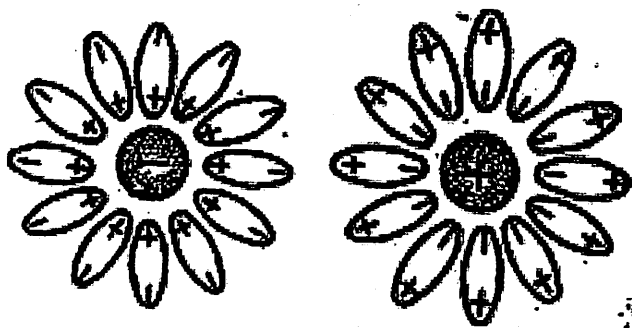
Suvdagi va ba'zi boshqa dielektrik suyuqliklardagi eritmaları elektr tokini o'tkazadigan moddalar *elektrolitlar* deyiladi. Elektrolitlarga asosan tuzlar, kislotalar va ishqorlar eritmasi kiradi. Elektrolit va eritgich molekullari dipol molekulasini bo'ladi. Shuning uchun eritmada elektrolitning har bir molekulasini 29-rasmda ko'rsatilganidek bir guppa eritgich molekullari o'rab turadi.



29-rasm.

Eritgich molekullari elektrolit molekulasini ikki qismga bo'lib yuborishga intiladi; bunga shuningdek issiqlik harakati-elektrolit atom va molekullarning tebranishi ham yordam beradi.

Natijada elektrolitning ko'pchilik molekullari musbat ionlarga (*kationlar*) va manfiy ionlarga (*anionlarga*) ajraladi; masalan,  $NaCl$  molekulasi suvdagi eritmada  $Na^+$  kationlariga va  $Cl^-$  anionlariga ajraladi. Bunda albatta, eritgichning ba'zi molekularining o'zi ham ionlarga ajralishi mumkin. Bunday protsess *elektrolitik dissotsiatsiya* deyiladi. Teskari protsess-elektrolit ionlarining neytral molekullarga birlashishiga (*rekombinatsiyalanishiga*)-ionlarda hosil bo'ladigan va eritgich molekularidan tuzilgan *solvat qobig'i* to'sqinlik qiladi (30-rasm).



30-rasm.

Elektrolitda dissotsiyalangan molekullari soni  $n$  ning uning umumiy molekullari soni  $n_0$  ga nisbati *dissotsiatsiya darajasi* yoki *koeffitsiyenti* deyiladi:

$$\alpha = \frac{n}{n_0} \quad (21)$$

( $n$  va  $n_0$  sonlar eritmaning birlik hajmiga tegishlidir, ya'ni mos konsentratsiyalardan iboratdir). Dissotsiatsiya darajasi elektrolit va eritgichning tabiatiga, elektrolitning konsentratsiyasiga  $n_0$  va temperaturasiga bog'liqdir. Kuchli eritmalarda ( $n_0 \rightarrow 0$ ) elektrolitning deyarli hamma molekullari dissotsiyalangan ( $\alpha \approx 1$ ); konsentratsiya ortishi bilan dissotsiatsiya darajasi kamayadi (rekombinatsiya hisobiga). Temperatura ortishi bilan  $\alpha$  ortadi, chunki temperatura ortganida elektrolit molekullaridagi atomlarning tebranma harakati zo'rayib, bu molekullarning ionlarga ajralishiga

yordam beradi.

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

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

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

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

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

$$q = ezn',$$

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

$$M = mn'$$

bo'ladi. Quyidagi

$$\frac{M}{q} = \frac{m}{ez} = k \quad (22)$$

Munosabat ayni shu modda uchun o'zgarmas kattalik bo'lib, shu moddaning *elektrokimyoviy ekvivalenti* deyiladi. Elektrokimyoviy ekvivalent eritma orqali *elektr miqdori* birligi o'tganida elektrodda ajraladigan modda miqdoriga tengdir. Kumush uchun masalan,  $k = 1,118 \text{ mZ} / \text{Kl}$ , mis uchun  $k = 0,329 \text{ mZ} / \text{Kl}$ . (22) formuladan

$$M = kq = kIt \quad (23)$$

ekanligi kelib chiqadi, bu yerda  $I$ -eritma orqali o'tayotgan tok kuchi. Bu munosabat Faradeyning birinchi qonunini ifodalaydi:



elektroddagi ajralgan moddaning massasi eritma orqali o'tuvchi elektr miqdoriga to'g'ri proporsional.

$k$  ning ifodasini (22) Avogadro soni  $N$  ga ko'paytiramiz va bo'lamiz:

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

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

$$k = \frac{1}{F} \frac{A}{z}, \quad (24)$$

bu yerda

$$F = Ne \quad (25)$$

Faradey soni deb ataluvchi universal doimiy;  $\frac{A}{z}$  nisbat moddaning

kimyoviy ekvivalenti deb ataladi. (24) formula Faradeyning ikkinchi qonunini ifodalaydi:

moddaning elektrokimyoviy ekvivalenti uning kimyoviy ekvivalentiga to'g'ri proporsional.

Faradeyning ikkala qonunini birlashtirib, shunday ifodani hosil qilamiz:

$$M = \frac{1}{F} \frac{A}{z} q = \frac{AIt}{Fz}, \quad (26)$$

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

Faradey soni kattalik jihatidan shunday elektr miqdoriga tengki, bu elektr miqdori eritma orqali o'tganida elektroddagi bir kilogramm ekvivalent modda ajraladi.<sup>1</sup>

Tajriba ma'lumotiga ko'ra,

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

<sup>1</sup> Son jihatidan uning ekvivalent massasiga (kimyoviy ekvivalentiga) teng bo'lgan moddaning kilogrammlar miqdori kilogramm-ekvivalent deyiladi.

(25) munosabatdan foydalanib, Faradey va Avogadro sonlariga ko'ra elektron zaryadi kattaligini aniqlash mumkin:

$$e = \frac{F}{N} = \frac{9,652 \cdot 10^7}{6,025 \cdot 10^{26}} \approx 1,602 \cdot 10^{-19} (\text{Kl}).$$

Texnikada elektrolizdan juda keng foydalaniladi. Elektroliz yo'li bilan ba'zi metallar (masalan, oksidli boksitlar quyuq eritmasidan alyuminiy) olinadi va elektrolizdan boshqa metodlar bilan olingan ko'p metallarni aralashmalardan tozalanadi (misni elektr rafinlash). Tegishli eritmalarini elektroliz qilish yo'li bilan ba'zi gazlar (kislorod, vodorod, xlor va boshqa gazlar) va og'ir suv<sup>1</sup> olinadi. Elektroliz yordamida turli buyumlar metall qatlami bilan qoplanadi (galvanostegiya), shuningdek, kerakli buyumlarning relyefli metall nusxalari, masalan tipografiya klishe'lari tayyorlanadi (galvanoplastika). Akkumulyatorlarni zaryadlash elektrolizga asoslangan.

Jonivor va o'simlik organizmlarining suyuqliklari elektrolitlarning eritmalarini ekanini qayd qilamiz. Shuning uchun tirik organizmdan o'zgarish tok o'tganida organizmda kimyoviy reaksiyalar va elektr zaryadlarining qayta taqsimlanishi ro'y beradi, bu organizmda turli tuman seskanishlar hosil qiladi. Shu bilan birga, shunday seskanishlar masalan baliqni suvda hosil qilingan elektr maydoniga qarshi suzishga majbur qiladi. Elektr bilan baliq tutish shunga asoslangan (baliq tutadigan to'r ichiga tok manbaini musbat qutbga ulangan elektrod joylashtiriladi).

#### 14-§. Gazlarda elektr toki. Mustaqilmas va mustaqil gaz razryadlari

Elektrolit eritmalaridan farqli ravishda normal sharoitlarda gaz neytral molekulalar (yoki atomlar) dan tuzilgan va shuning uchun izolyator bo'ladi. Atmosferada ionlar konsentratsiyasi juda oz bo'ladi.

<sup>1</sup> Hamma vaqt ham odatdagi suvda oz miqdorda og'ir suv bo'ladi. Oksidlantirilgan suvni elektroliz qilishda katodda asosan yengil vodorod-protoniy ajraladi, qolgan suv og'ir vodorod-deyteriy bilan boyiydi.

Gaz elektr tokini o'tkazishi uchun uning molekularining loaqal bir qismi tashqi ta'sir (ionizator) ostida ionlashishi (ya'ni ionlarga aylanishi) kerak. Ionlashishda gaz molekulasidan odatda bitta elektron uzilib chiqadi, buning natijasida molekula musbat ion bo'lib qoladi. Uzilib chiqqan elektron yoki biror muddat erkin qoladi, yoki darhol gazning neytral molekularidan biriga birlashadi va bu molekulanı manfiy ionga aylantiradi. Shunday qilib, ionlashgan gazda musbat ionlar ham, manfiy ionlar ham, erkin elektronlar ham bo'ladi<sup>1</sup>.

Molekula (atom) dan bitta elektronni uzib chiqarish uchun ionizator ma'lum ish bajarishi kerak, bu ish ionizatsiya ishi deb ataladi; ko'pchilik gazlar uchun uning qiymati 5 dan 25 eV gacha chegarada bo'ladi. Gazning ionizatorlari bo'lib issiqlik energiyasi rentgen nurlari, radioaktiv nurlanishlar, kosmik nurlar va boshqa faktorlar xizmat qilishi mumkin.

Gazda ionizatsiya bilan birga ionlarning rekombinatsiyalanish protsessi ham boradi. Natijada ionlarning ma'lum konsentratsiyasi bilan xarakterlanuvchi muvozanat holat qaror topadi, ionlarning bunday konsentratsiyasi ionizatorning quvvatiga bog'liq bo'ladi<sup>2</sup>.

Tashqi elektr maydoni bo'lganida ionlashgan gazda turli ismli ionlarning qarama-qarshi yo'nalishdagi harakati va elektronlarning harakati tufayli elektr toki vujudga keladi. Gazning yopishqoqligi kichik bo'lgani uchun gaz ionlarining harakatchanligi minglab marta katta bo'ladi va taxminan ga teng bo'ladi.

Ionizator ta'siri to'xtaganda gaz ionlarining konsentratsiyasi darhol nolgacha kamayadi (rekombinatsiya va ionlarning tok manbai elektrodlariga neytrallashishi sababli) va tok gazdan o'tishi to'xtaydi. Demak, mavjud bo'lishi uchun tashqi ionizator ta'siri zarur bo'lgan tok mustaqilmas gaz razryadi deyiladi.

Anchagina kuchli elektr maydonida gazda o'z-o'zidan ionlashish protsessi boshlanadi, buning natijasida gazda tok tashqi ionizator mavjud bo'lmaganida ham mavjud bo'lishi mumkin. Bunday turdagi tok mustaqil gaz razryadi deyiladi.

<sup>1</sup> Erkin elektronlar va ionlar gazda muallaq bo'lgan begona zarralar (chang-to'zon, tutun zarralari, tomchilar va shunga o'xshash) da o'tirib qolishi mumkin, bunda ular og'ir ionlar hosil qiladi.

<sup>2</sup> Ионизаторнинг куввати шу ионизаторнинг 1 см<sup>3</sup> газда 1 сек да ҳосил қилган ионлар жуфти сони билан хarakterlanadi.

O'z-o'zidan ionlashish protsesslari umumiy tarzda shunday bo'ladi. Tabiiy sharoitlarda gazda hamma vaqt ham oz miqdorda erkin elektronlar va ionlar bo'ladi, ular kosmik nurlar va atmosferada, tuproqda va suvda bo'ladigan radioaktiv moddalarning nurlanishidan iborat sun'iy ionizatorlar ta'siridan hosil bo'ladi. Anchagina kuchli elektr maydoni bu zarralarni shunday tezliklarga tezlatishi mumkinki, ularning kinetik energiyasi ionizatsiya ishidan katta bo'lib qoladi va bunday elektronlar va ionlar (elektrodlarga qarab ketayotganda) neytral (atom) molekular bilan to'qnashib, bu molekularni ionlashtiradi. To'qnashishlarda hosil bo'ladigan yangi (ikkilamchi) elektronlar va ionlar ham maydon tomonidan tezlashtiriladi va o'z navbatida ular ham yangi neytral molekularni ionlashtiradi va hokazo. Gazning bunday o'z-o'zidan ionlashishi zarba bilan ionlashish deyiladi.

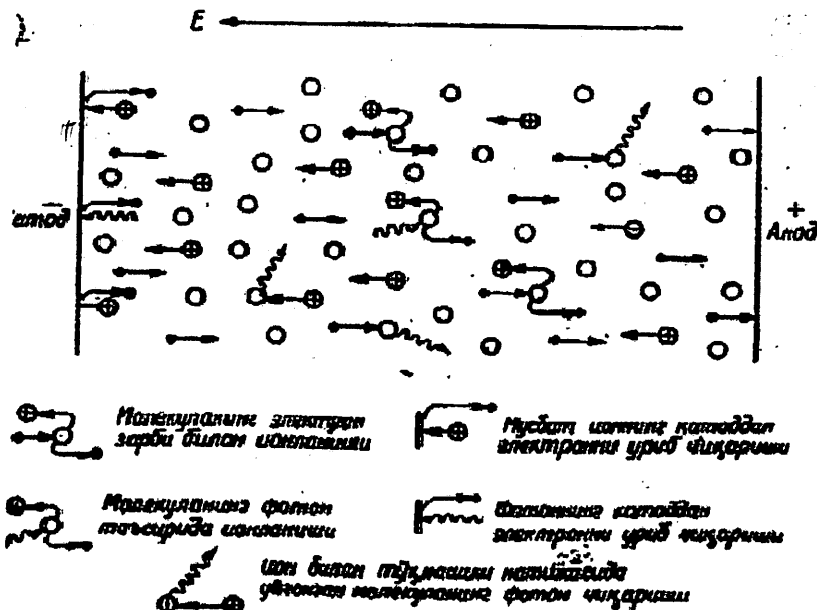
Erkin elektronlar maydon kuchlanganligi tartibida bo'lgandayoz zarb bilan ionlashtirishi mumkin. Ionlar esa maydon kuchlanganligi tartibida bo'lganida gaz zarralarini zarb bilan ionlashtira oladi. Bunday farq qilishga bir necha sabablar bor, ulardan biri elektronlarning gazdagi erkin yugurish yo'li uzunligining ionlarnikidan yuqori bo'lishidir. Shuning uchun elektronlar zarb bilan ionlashtirish uchun zarur bo'lgan kinetik energiyaga ionlarga qaraganda kichikroq maydon kuchlanganlikda ega bo'ladi. Biroq uncha kuchli bo'lmagan maydonlarda ham musbat ionlar gazning o'z-o'zidan ionlashishida juda muhim rol o'ynaydi. Gap shundaki, bu ionlarning energiyalari elektronlarni metall dan uzib chiqarish uchun yetarli bo'ladi.<sup>1</sup> Shuning uchun maydonda tezlashtirilgan musbat ionlar maydon manbainig metall katodiga urilib, katoddan elektronlarni urib chiqaradi, bu elektronlar o'z navbatida maydon tomonidan tezlashtirilib, neytral molekularni ionlashtirishda ishtirok etadi.

Energiyalari zarb bilan ionlashtirish uchun yetarli bo'lmagan ionlar va elektronlar har holda molekular bilan uchrashganda ularni qo'zg'algan holatga keltirishi mumkin, ya'ni ularning elektron qobiqlarida ma'lum darajada energetik o'zgarishlar yuzaga kelishiga

<sup>1</sup> Elektronning metall dan chiqish ishi molekularning ionlashish ishidan ancha kichik: birinchisi bir necha elektron-volt, ikkinchisi esa, yuqorida aytganimizdek, bir necha o'n elektron-volt bo'ladi.

sabab bo'lishi mumkin. Qo'zg'atilgan molekula (atom) esa, normal holatga o'tishida elektromagnit energiya porsiyasi foton chiqaradi. Fotonlarning chiqarilishi gazning nurlanishida namoyon bo'ladi. Bundan tashqari, gaz molekularining birortasida yutilgan foton bu molekulani ionlashi mumkin; bunday tur ionlashtirish foton ionlashtirishi deyiladi. Nihoyat, katodga tushgan foton undan elektronni urib chiqarishi mumkin (tashqi fotoeffekt), so'ngra bu elektron neytral molekulani zarb bilan ionlashi mumkin.

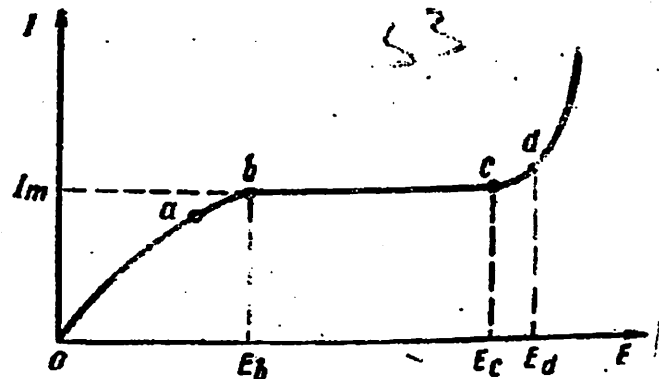
Zarb bilan ionlashtirish va foton ionlashtirish hamda musbat ionlar va fotonlarning katoddan elektronlarning urib chiqarishi natijasida gazning butun hajmida elektronlar va fotonlar miqdori keskin (ko'chkisimon) ortadi. Gazda tok mavjud bo'lishi uchun endi tashqi ionizator kerak emas. Gaz razryadi mustaqil razryad bo'lib qoladi. Gazning bayon qilingan o'z-o'zidan ionlashish protsessi 31-rasmda sxematik ravishda ko'rsatilgan, bu yerda neytral molekularlar oq doirachalar bilan, musbat ionlar plyus ishorali doirachalar bilan, elektronlar qora doirachalar, fotonlar to'liqinsimon chiziqlar bilan tasvirlangan.



31-rasm.

32-rasmda gazdagi  $I^-$  tok kuchining maydon kuchlanganligi  $E$  ga yoki  $E = \frac{U}{L}$  bo'lgani uchun, maydon manbaining katodi va

anodi orasidagi kuchlanish  $U$  ga bog'lanishining eksperimental grafigi berilgan, bu yerda  $L$  elektrodlar orasidagi masofa.



32-rasm

Egri chiziqning  $Oa$  qismida tok kuchi maydon kuchlanganligiga taxminan proporsional (ya'ni Om qonuniga muvofiq) o'sadi. Bunga sabab shuki, kuchlanganlik ortishi bilan ionlar va elektronlarning tartibli harakati tezligi ortadi, binobarin, elektrodga har  $1 \text{ sek}$  tartibli harakati tezligi ortadi, binobarin, elektrodga har  $1 \text{ sek}$  davomida o'tayotgan elektr miqdori (tok) ham ortadi. Ravshanki, davomida o'tayotgan elektr miqdori (tok) ham ortadi. Ravshanki, maydon kuchlanganligining qiymati tashqi ionizator  $1 \text{ sek}$  davomida birlik hajmda hosil qilayotgan barcha ionlar va elektronlar soni xuddi shu vaqt ichida elektrodga yetib keladigan zaryadlar qiymatiga yetganida tokning o'sishi to'xtaydi. Bu  $E_b$  kuchlanganlikka mos  $I_m$  maksimal tok to'yinish toki deyiladi ( $bc$  qismi). To'yinish toki kataligi ionizator quvvatiga proporsional. Maydon kuchlanganligi yetarlicha katta bo'lganda gazning o'z-o'zidan ionlashishi boshlanadi, kuchlanganlikning yanada ortishida mustaqil gaz razryadi boshlanadi. Shunday qilib, 33-rasmdagi egri chiziqning  $Od$  qismi

mustaqilmas gaz razryadiga, egri chiziqning  $d$  nuqtadan o'ngroqda yotgan tarmog'i mustaqil gaz razryadiga tegishli ekan. Shu bilan birga razryadning xarakteri (turi) asosan gazning bosimi, temperaturasi, gazning kimyoviy tarkibi, shuningdek, elektrodning materiali, shakli, o'lchamlari va o'zaro joylashishiga bog'liq bo'ladi.

## 15-§. Mustaqil gaz razryadining turlari

1. Uchqunli razryad. Katta elektr maydoni kuchlanganliklarida ( $30000 \text{ V/sm}$  atrofida) normal yoki yuqori bosimda bo'lgan gazda uchqun razryad (gazning teshilishi) ro'y beradi. Uning ko'rinishi elektrodlar orasida bir onda hosil bo'ladigan yorqin egri-bugri tarmoqlangan kanal (*strimer*) ko'rinishda bo'ladi. Razryad vaqt o'tishi bilan uzuq-uzuq bo'ladi (kanal goh alangalanadi, goh so'nadi) va kuchli chirsillash bilan boradi.

Uchqunli razryad zarb bilan ionlashish va fotonli ionlashish hamda musbat ionlarning katoddan elektronlar urib chiqarishidan hosil bo'lgan ion va elektron ko'chkilaridan vujudga keladi. Bu protsesslarda katta energiya miqdori ajraladi. Shuning uchun razryad kanalida gaz juda yuqori ( $10^4 \text{ grad}$  ga yaqin) temperaturagacha qiziydi, uning nurlanishiga sabab shu. Kanaldagi qizigan gazning kengayishida hosil bo'lgan tovush to'lqinlari tufayli uchqun razryad chirsillaydi.

Tabiiy sharoitlarda bo'ladigan juda katta uchqunli razryadga yashin misol bo'la oladi. Yashin bulut va yer yoki ikki chaqmoq bulut orasida yuzaga keladigan elektr uchqundir<sup>1</sup>. Yashinning uzunligi bir necha kilometr ga yetishi mumkin, yashin kanalining diametri 25 sm, kanaldagi tok kuchi  $10^5 \text{ A}$  ga teng. Yashin  $10^{-6}$  sek davom etadi. Chaqmoq hodisalari, xususan yashin birinchi bo'lib XVIII asrning o'rtalarida M.V.Lomonosov va G.V.Rixman hamda ulardan mustaqil holda amerikalik olim Franklin tomonidan eksperimental o'rganilgan edi.

<sup>1</sup> Одатда чакмоқ булутининг юқори қисми мусбат, пастки қисми манфий зарядланган бўлади. Булутлар турли исмли зарядланган қисмлари яқинлашганда улар орасида яшин чакнайди.

Laboratoriya sharoitlarida uchqun razryad yordamida plazma (to'la ionlashgan holatdagi gaz) hosil qilinadi. Uchqun razryad elektr uzatish liniyalarini kuchlanish ortib ketishidan muhofaza qilishda (uchqun razryadlagich), shuningdek, ichki yonuv dvigatelida yoqilg'i aralashmasini alangalatish uchun ishlatiladi. Gaz razryad oralig'ining uzunligi kichik bo'lganda uchqun razryad metall sirtini parchalaydi (eroziya). Metallarga elektr uchqun bilan ishlov berish (ularni qirqish, parmalash va shunga o'xshash ishlar) ana shu hodisaga asoslangan.

2. Toj razryad. Bir jinsli bo'lmagan elektr maydonida bo'lgan normal yoki yuqori bosimli gazda elektrodlar o'tkir qismlarining yaqinida toj razryad kuzatiladi. Toj razryad gazning och binafsha rangda nurlanishi bo'lib, zaif shpillash bilan davom etadi. Razryad gaz molekulalarining kuchli elektr maydonida katta tezliklarga tezlatilgan elektronlar va ionlari vositasida zarb bilan ionlashishi tufayli yuzaga keladi, bunday kuchli elektr maydonlar elektrodning o'tkir uchli qismlarida vujudga kelishi ma'lum. Yorug'lik gazning g'alayonlashgan ("uyg'ongan") molekulalarining normal holatiga o'tayotganda chiqarilishi bilan kuzatiladi.

Toj razryad, masalan, yuqori kuchlanish simlari yaqinida, machtalarning uchlarida va boshqa o'tkir uchli predmetlar yaqinida hosil bo'ladi. Yashin qaytargichning ishlashi toj razryadga asoslangan. Atmosferada momaqaldiraq bo'lgan vaqtda hosil bo'ladigan kuchli elektr maydoni yashin qaytargichning uchida toj razryadni vujudga keltiradi. Bu razryad atmosfera elektr zaryadlarining bino oldida to'planishiga yo'l qo'ymay, ularni uzluksiz yerga o'tkazib turadi va shu bilan binoni yashin zarbidan muhofaza qiladi (yoki zarbni o'ziga qaratadi).

3. Yoy razryad. Yoy razryad bir-biriga yaqin joylashgan ikki elektrod (ko'mir yoki metall elektrod) orasida unchalik katta bo'lmagan kuchlanishlarda ( $60 \text{ V}$  atrofida) vujudga keladi. Atmosfera bosimida uning temperaturasi juda baland,  $5000-6000^\circ\text{K}$  bo'ladi va ko'zni qamashtiradigan darajada nurlanadi. Yoy razryad vaqtida  $1 \text{ mm}^2$  yuzaga to'g'ri keladigan tok zichligi bir necha ming amperga yetadi.

Yoy razryad asosan cho'g'langan katodning termoelektron emissiyasidan yuzaga keladi. Katod dastlab tokning elektrodlar bir-biriga tegib turgan katta qarshilikka ega bo'lgan joyida ajratib chiqargan

Laboratoriya sharoitlarida uchqun razryad yordamida plazma (to'la ionlashgan holatdagi gaz) hosil qilinadi. Uchqun razryad elektr uzatish liniyalarini kuchlanish ortib ketishidan muhofaza qilishda (uchqun razryadlagich), shuningdek, ichki yonuv dvigatelida yoqilg'i aralashmasini alangalatish uchun ishlatiladi. Gaz razryad oralig'ining uzunligi kichik bo'lganda uchqun razryad metall sirtini parchalaydi (eroziya). Metallarga elektr uchqun bilan ishlov berish (ularni qirqish, parmalash va shunga o'xshash ishlar) ana shu hodisaga asoslangan.

2. Toj razryad. Bir jinsli bo'lmagan elektr maydonida bo'lgan normal yoki yuqori bosimli gazda elektrodlar o'tkir qismlarining yaqinida toj razryad kuzatiladi. Toj razryad gazning och binafsha rangda nurlanishi bo'lib, zaif shpillash bilan davom etadi. Razryad gaz molekulalarining kuchli elektr maydonida katta tezliklargacha tezlatilgan elektronlar va ionlari vositasida zarb bilan ionlashishi tufayli yuzaga keladi, bunday kuchli elektr maydonlar elektrodning o'tkir uchli qismlarida vujudga kelishi ma'lum. Yorug'lik gazning g'alayonlashgan ("uyg'ongan") molekulalarining normal holatiga o'tayotganda chiqarilishi bilan kuzatiladi.

Toj razryad, masalan, yuqori kuchlanish simlari yaqinida, machtalarning uchlarida va boshqa o'tkir uchli predmetlar yaqinida hosil bo'ladi. Yashin qaytargichning ishlashi toj razryadga asoslangan. Atmosferada momaqaldiroq bo'lgan vaqtda hosil bo'ladigan kuchli elektr maydoni yashin qaytargichning uchida toj razryadni vujudga keltiradi. Bu razryad atmosfera elektr zaryadlarining bino oldida to'planishiga yo'l qo'ymay, ularni uzluksiz yerga o'tkazib turadi va shu bilan binoni yashin zarbidan muhofaza qiladi (yoki zarbni o'ziga qaratadi).

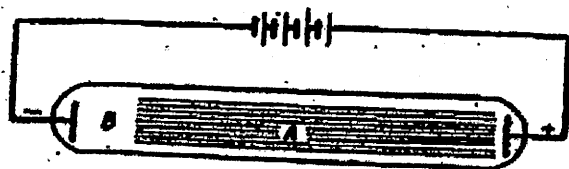
3. Yoy razryad. Yoy razryad bir-biriga yaqin joylashgan ikki elektrod (ko'mir yoki metall elektrod) orasida unchalik katta bo'lmagan kuchlanishlarda (60 V atrofida) vujudga keladi. Atmosfera bosimida uning temperaturasi juda baland, 5000-6000°K bo'ladi va ko'zni qamashtiradigan darajada nurlanadi. Yoy razryad vaqtida 1 mm<sup>2</sup> yuzaga to'g'ri keladigan tok zichligi bir necha ming amperga yetadi.

Yoy razryad asosan cho'g'langan katodning termoelektron emis-

issiqligi hisobiga qiziydi. So'ngra elektrodlar uzoqlashtiriladi va emitterlangan elektronlar gazni zarb bilan ionlashtiradi. Bundan keyin katod musbat ionlar bilan bombardimon qilish hisobiga cho'g'langan holatda saqlab turiladi.

Yoy razryadni 1802 yilda V.V.Petrov kashf qilgan edi. Hozirgi vaqtda razryadning bu turi metallarni payvand qilish (elektr yoyi bilan payvandlash, hatto suvda payvandlash), maxsus po'latlarni eritish (yoy pechi), yoritish (yoy fonar, projektor) va boshqa sohalarda qo'llaniladi. Yoy razryadning past bosimdagi simob bug'laridagi yorug'ligi ultrabinafsha nurlarga juda boy bo'ladi. Shu munosabat bilan simob yoy lampalar ilmiy tadqiqotlarda ultrabinafsha nurlari manbai sifatida, shuningdek, davolash maqsadlarida ("sun'iy tog' quyoshi") foydalaniladi. Lampaning balloni ultrabinafsha nurlarini deyarli yutmaydigan kvarts shishasidan tayyorlanadi, shuning uchun bu lampa kvarts lampasi deb yuritiladi.

4. Yolqin razryad. Yolqin razryad gazda past bosim ( $0,1 \text{ mm}$  simob ustuni) va elektr maydonining yuqori kuchlanganliklarida ( $80 \text{ V/sm}$  atrofida) kuzatiladi. Razryad gaz-razryad nayining elektrodleri orasidagi deyarli butun fazoni to'ldiruvchi sokin nurlanuvchi A ustun (musbat ustun) ko'rinishida bo'ladi. (33-rasm): faqat katod yaqinidagi kichik V sohagina nurlanmay qoladi (katod qorong'i fazosi). Nurlanish qo'zg'algan molekulalarni vujudga keltiradi, nurlanishning rangi gaz tabiatiga bog'liq bo'ladi.



33-rasm.

Yolqin razryad musbat ionlarning katoddan urib chiqargan elektronlarning zarbi bilan gaz ionlashi tufayli hosil qiladi.

Katod yaqinida bu elektronlar maydon ta'sirida endi tezlasha boshlagan bo'ladi. Shuning uchun V sohada ular gazni amalda zarb bilan ionlashtirmaydi ham, hatto gaz molekulalarini qo'zg'algan holatga ham keltira olmaydi va bu sohaning nurlanmasligiga asosiy

sabab bo'ladi. Elektronlar musbat A ustunga yetgach, yetarli kinetik energiyaga ega bo'ladi va shu sababli ustundagi gazni ionlashtiradi. Zarb bilan ionlashda hosil bo'ladigan musbat ionlar katodga qarab intiladi va katoddan yangi elektronlarni urib chiqaradi, bu elektronlar oqimi o'z navbatida yana A sohadagi gazni ionlashtiradi va hokazo. Shunday qilib, yolqin razryad uzluksiz saqlanadi.

V sohada (A sohaga nisbatan) ionizatsiya kam bo'lgani uchun tok manbai hosil qilgan kuchlanishning deyarli hamma tushishi bu sohada to'plangan.

Siyraklangan gazda ionlar konsentratsiyasi kam (shuningdek, neytral molekulalar ham kam) bo'lgani uchun, birinchidan, gazda teshilish ro'y bermaydi, ikkinchidan, gazda ajraladigan umumiy energiya miqdori uncha katta bo'lmaydi, shuning uchun gazning nurlanishi sovuq holicha qoladi.

Gaz yanada siyraklanganda uning nurlanishi zaiflashadi va amalda gaz bosimi  $10^{-3} \text{ mm sim.ust.}$  tartibiga yetganda nurlanish to'xtaydi. So'ngra shisha nay (devorlari) yashil rangda tovlana boshlaydi. Shishaning nurlanishiga elektronlarning bunday kuchli siyraklangan sharoitlarda gaz molekulalari bilan kamdan-kam to'qnashishi va shuning uchun yorug'lik tezligiga yaqin katta tezliklarda shisha devoriga urilishi sabab bo'ladi. Bu elektronlar oqimi *katod nurlari* yoki *elektronlar dastasi* deyiladi. Musbat ionlarning qarama-qarshi yo'nalishdagi oqimi kanal nurlari yoki ionlar dastasi deyiladi.

Bosim yanada kamaytirilganda shishaning yashil nurlanishi susayadi va  $10^{-5} \text{ mm sim.ust.}$  ga yaqin bosimlarda nurlanish to'xtaydi.

Yolqin razryad bo'layotgan lampalar yorug'lik manbalari sifatida ishlatiladi (*kunduzgi yorug'lik lampalari*). Bu hollarda ular argon aralashgan simob bug'lari bilan to'ldiriladi, nayning devorlari ich tomondan fluoressensiyalanadigan modda (*lyuminofo*) bilan qoplanadi. Bunday lampalar cho'g'lanma lampalardan tejamlaroq. Geliy yoki neon bilan to'ldirilgan gaz razryadli naylar dekoratsiya maqsadlarida yoki reklama yozuvlarida ishlatiladi.

Laboratoriya ilmiy tadqiqot ishlarida va ba'zi elektron asboblarda yolqin razryad ion yoki elektron dastalari manbai sifatida foydalaniladi.

Qutb yog'dusi tabiiy sharoitlarda bo'ladigan yolqin razryadga misol bo'ladi. Bu yog'du atmosferaning yuqori (siyrak) qatlamlarida Quyoshning aktiv sohalaridan chiqib Yerning magnit maydoni

tomonidan Yer magnit qutblari zonalarida yig'iladigan zaryadlangan zarralar oqimlaridan hosil bo'ladi.

#### Nazorat savollari

1. Tok kuchi deb nimaga aytiladi?
2. Zanjirning birismi uchun Om qonuni kaday ifodalanadi?
3. Berk zanjir uchun Om qonuni qanday ifodalanadi?
4. Elektr yurituvchi kuch deb nimaga aytiladi?
5. Kirxgofning birinchi va ikkinchi qonunlarini tushuntirib bering.
6. Elektron emissiya hodisasini tushuntirib bering.
7. Xususiy va aralashmali yarimo'tkazgichlardagi kechadigan fizik jarayonlarni asoslab bering.
8. Suyuqliklar uchun Faradey qonunlarini ta'riflab bering.
9. Gazlarda elektr toki fizik mohiyatini tushuntiring.
10. Mustaqil va nomustaqil gaz razryadlarini tushuntiring.

### III. ELEKTROMAGNETIZM

#### 16-§. Doimiy magnit va aylanma tok. Magnitlar va toklarning magnit maydoni

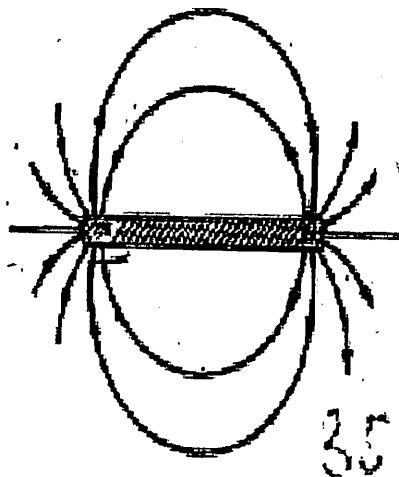
Magnit hodisalari tabiiy magnit "temirtak" (temirning  $FeO$ ,  $Fe_2O_3$  oksidlari) ning temir buyumlarni o'ziga tortish va ularni magnitlash xossasiga doir kuzatishlar va tajribalarda qadim zamonlardan ma'lum bo'lib keldi. O'sha vaqtlarda Yerning magnit xossalari bor ekanligi va o'tkir uchga qo'yilgan magnit sterjen o'z-o'zidan geografik meridian bo'ylab turib qolishi aniqlangan. Bu xossaga asoslangan kompas dastlab Xitoyda bundan taxminan 3000 yillar ilgari mavjud edi.

Doimiy magnitlarni birinchi bo'lib 1600 yilda Gilbert batafsil tekshirdi va xossalarini bayon qildi. Doimiy magnitning ikki qutbi-temir buyumlarni eng katta kuch bilan tortuvchi chekka sohalari hamda tortishish kuchlari amalda namoyon bo'lmaydigan ular orasidagi neytral zonasi aniqlandi. Magnit qutblari orasida farq bor edi, magnitning shimolga qaragan qismi shimoliy qutb yoki musbat magnit qutbi, janubga qaragan qismi esa janubiy yoki manfiy magnit qutbi deb ataldi. Magnitlarning turli ismli qutblari o'zaro tortishar va bir xil ismli qutblari o'zaro itarishar ekan. 1820 yili daniyalik fizik *Ersted* doimiy magnit singari, simdan o'tayotgan elektr toki ham o'z yaqinida joylashtirilgan magnit strelkasiga ta'sir qilishini va uni aniqlashni bir yo'nalishda oriyentirlashini aniqladi. O'shandayoq fransuz fizigi *Amper* tokli ikki o'tkazgichning o'zaro magnit ta'sirini aniqladi. XIX asrda bir necha olimlar tomonidan suyuqlik va gazlardan o'tayotgan toklarda ham, umuman har qanday *harakatlanayotgan* elektr zaryadi magnit xossalarini namoyon qilishini aniqlashdi. Qo'zg'almas elektr zaryadi (elektr maydon vositasida) elektr zaryadlariga ta'sir qiladi; biroq magnit strelkasiga ta'sir qilmaydi; *faqat harakatlanayotgan elektr zaryadlarga magnit ta'siriga egadir.*

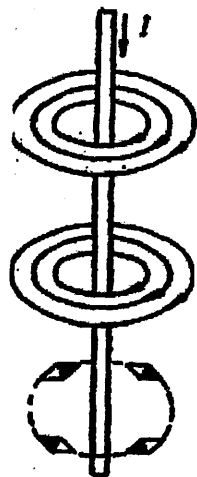
Shunday qilib, harakatlanayotgan elektr zaryadlari atrofida maydonning yana bir turi, magnit maydoni hosil bo'lishi aniqlandi. Ushbu maydon vositasida zaryadlar maydonlar bilan yoki boshqa harakatlanayotgan elektr zaryadlar bilan o'zaro ta'sir qiladi.



Magnit maydoni *kuch maydonidir*, shuning uchun uni kuch chiziqlari bilan grafik ravishda tasvirlash mumkin. Magnit kuch chizig'iga uning ixtiyoriy nuqtasida o'tkazilgan urinma magnit maydonining shu nuqtadagi musbat magnit qutbiga ta'sir qiluvchi kuchi bilan bir xil yo'nalgan bo'lishi kerak.



34-rasm.



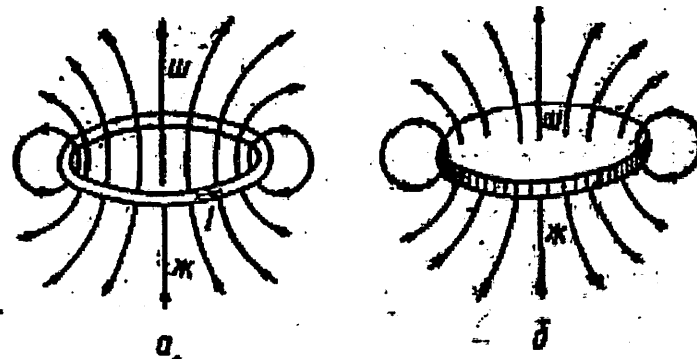
35-rasm

Magnit kuch chiziqlarining qanday joylashishini har bir konkret holda masalan, shu chiziqlar bo'ylab oriyentirlangan magnit strelkasi yordamida bilishi mumkin; kuch chiziqlarining yo'nalishi uchun strelkaning janubiy qutbidan shimol qutbiga qaragan yo'nalish olinadi. 34-rasmda uzun magnit sterjen (magnit spitsa) ning shunday yo'l bilan o'ralgan magnit maydoni tasvirlangan.

Yuqorida aytib o'tilgan Ersted tajribasida to'g'ri ingichka simdagi I tokning hosil qilgan magnit maydoni kuch chiziqlari markazlari bu simda joylashgan, perpendikulyar tekislik konsentrik aylanalardan iborat bo'ladi (35-rasm).

Tok magnit maydoni kuch chiziqlarining yo'nalishi *parma qoidasiga* ko'ra aniqlanadi: tok

yo'nalishida kirayotgan parmaning dastasi magnit kuch chiziqlari yo'nalishida aylanadi. Elektr maydonining kuch chiziqlaridan farqli ravishda *magnit maydon kuch chiziqlari hamma vaqt berk bo'ladi* (ya'ni ularning boshi ham, oxiri ham bo'lmaydi), ya'ni tabiatda magnit zaryadlari mavjud emasligini tushuntiradi. Parma qoidasiga muvofiq, aylanma I tokning magnit maydoni 36-a rasmda ko'rsatilgan ko'rinishda bo'ladi; shu rasmning o'zida shunday shaklli doimiy magnit bo'lagining maydoni tasvirlangan (36-b rasm). 36-a va 36-b rasmlarni solishtirib, aylanma tok va doimiy magnitning magnit maydonlari bir-biriga to'la o'xshashini ko'ramiz.



36-rasm.

Shuning uchun aylanma tok tashqi magnit maydonida xuddi doimiy magnit singari oriyentirlanadi: u o'zining o'q chizig'i (ya'ni xususiy magnit maydonining markaziy kuch chizig'i) bilan tashqi magnit maydon bo'ylab turadi.

Shunday qilib, *moddaning magnit xossalari bu modda atomlari va molekulalaridagi elementar aylanma toklar bilan bog'liq ekan.*

## 17- §. Vakuumdagi toklarning o'zaro magnit ta'siri

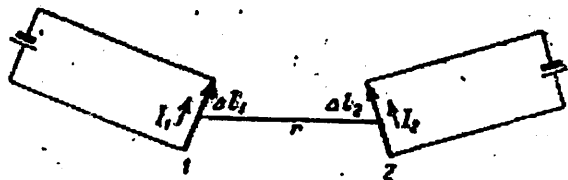
Toklarning o'zaro magnit ta'sirini, birinchi bo'lib Amper o'rgangan edi. Amper maxsus moslama ("Amper stanogi") ga joylashtirilgan harakatlanuvchi sim konturlar yordamida tokli o'tkazgichlar (simlar) ning ikki 1 va 2 kichik qismlarining o'zaro ta'sir kuchi kattaligi

$\Delta F$ , shu qismlarning uzunligi  $\Delta l_1$  va  $\Delta l_2$  ga, hamda tok kuchlari  $I_1$  va  $I_2$  ga to'g'ri proporsional va qismlar orasidagi masofaning kvadratiga teskari proporsional ekanini aniqladi (37-rasm):

$$\Delta F \sim \frac{I_1 I_2 \cdot \Delta l_1 \Delta l_2}{r^2} \quad (1)$$

$\Delta l_1$  va  $\Delta l_2$  qismlarning yo'nalishi qilib ulardan o'tayotgan tokning yo'nalishi olinadi.

Amper va boshqa olimlarning kelgusi eksperimental tadqiqotlari va nazariy hisoblari birinchi  $\Delta l_1$  qismining ikkinchi  $\Delta l_2$  qismiga ta'sir kuchi  $\Delta F_{12}$  bu qismlarning o'zaro joylashishiga bog'liq,



37-rasm.

ya'ni  $\alpha$  va  $\beta$  burchaklarning sinuslariga proporsional ekanligini tasdiqladi, ya'ni

$$\Delta F_{12} \sim \sin \alpha \sin \beta, \quad (2)$$

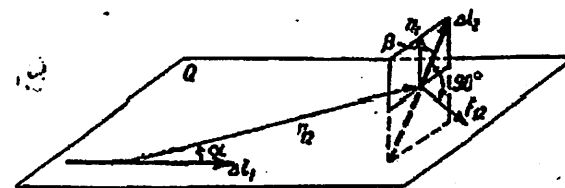
Bu yerda  $\alpha$  —  $\Delta l_1$  va  $\Delta l_1$  ni  $\Delta l_2$  bilan birlashtiruvchi  $r_{12}$  radius-vektor orasidagi,  $\beta$  — esa o'tkazgichning  $\Delta l_2$  va  $\Delta l_1$  qismi bilan  $r_{12}$  radius-vektor joylashgan  $Q$  tekislikka o'tkazilgan  $n_1$  normal orasidagi burchak (38 rasm). Bunda  $n_1$  normalning yo'nalishi parma qoidasiga muvofiq aniqlanadi: bu yo'nalish dastasi  $\Delta l_1$  qismidan  $r_{12}$  radius-vektorga qarab aylanayotgan parmaning ilgarilanma harakati yo'nalishiga mos keladi.

U holda (1) va (2) formulalarni bir (3) formulaga birlashtirib va  $k$  proporsionallik koeffitsiyentini kiritib toklarning o'zaro magnit ta'siri (aniqrog'i birinchi tokning ikkinchi tokka ta'siri) kuchi

kattaligi uchun Amper qonunining matematik ifodasini topamiz:

$$\Delta F_{12} = k \frac{I_1 I_2 \cdot \Delta l_1 \Delta l_2 \sin \alpha \sin \beta}{r_{12}^2} \quad (3)$$

Bu kuch o'tkazgich  $\Delta l_2$  qismiga unga perpendikulyar holda qo'yilgan va  $Q$  tekislikda joylashgan.  $\Delta F_{12}$  ning yo'nalishi ham parma qoidasiga ko'ra aniqlanadi: uning dastasi yo'nalishi  $\Delta l_2$  dan  $n_2$  normalga qarab aylanayotgan parmaning ilgarilanma harakati yo'nalishiga mos keladi (38-rasm).



38-rasm.



39-rasm.

Endi tok elementi tushunchasini kiritaylik. Tok elementi, deb, kattaligi o'tkazgichning cheksiz kichik uchastkasi  $dl$  bilan  $I$  tok kuchining ko'paytmasi  $I dl$  ga teng bo'lgan va shu tok bo'ylab yo'nalgan vektorga aytiladi (39-rasm).

U holda (3) formulada o'tkazgichlarning kichik  $\Delta l$  qismlaridan ularning cheksiz kichik  $dl$  qismlariga o'tib, Amper qonunini (tok elementlari uchun) differensial shaklda yozish mumkin:

$$dF_{12} = k \frac{I_1 I_2 \cdot dl_1 dl_2 \sin \alpha \sin \beta}{r_{12}^2} \quad (4)$$

Elektromagnit hodisalari qonuniyatlarida (jumladan, Amper qonunida) tok elementlari xuddi elektrostatik qonuniyatlardagi (jumladan, Kulon qonunida) nuqtaviy elektr zaryadlar singari muhim rol o'ynaydi.

(4) formuladagi proporsionallik koeffitsiyentini XBSda quyidagicha ko'rinishda yozish mumkin:

$$k = \frac{\mu_0}{4\pi} \quad (5)$$

Bu yerda  $\mu_0$  yangi o'lchamli kattalik magnit doimiysi (yoki vakuumning absolyut magnit singdiruvchanligi) deyiladi;  $4\pi$  maxraj elektr formulalarni soddalashtirish munosabati bilan kiritilgan.  $k$  koeffitsiyentni birga teng deb qabul qilish mumkin emas, chunki (4) formulalarga kiruvchi barcha fizik kattaliklarning o'lchov birliklari avvaldan aniqlangan. Shuning uchun  $k$  ning va demak,  $\mu_0$  ning qiymatlarini tajriba yo'li bilan aniqlash kerak.

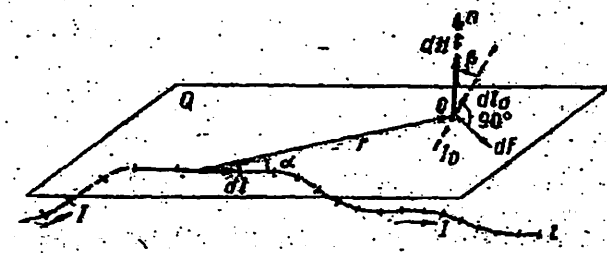
(5) formulani hisobga olgan holda vakuumda tok elementlarining o'zaro ta'siriga oid Amper qonunini yana quyidagicha yozish mumkin:

$$dF_{12} = \frac{\mu_0 I_1 I_2 \cdot dl_1 dl_2 \sin \alpha \sin \beta}{4\pi r_{12}^2} \quad (6)$$

$\mu_0$  kattalikni tajriba yo'li bilan aniqlangan qiymati  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Gn}}{\text{m}}$  ga teng.

### 18-§. Magnit maydonining kuchlanganligi. Amper formulasi. Bio-Savar-Laplas qonuni.

Elektr toklari bir-biri bilan o'zlarining magnit maydonlari vositasida o'zaro ta'sirlashgani uchun magnit maydonining miqdoriy xarakteristikasini o'zaro ta'sir qonuni Amper qonuni asosida aniqlash mumkin. Shu maqsadda  $I$  tok oqayotgan ixtiyoriy shakldagi  $l$  o'tkazgichni ko'z oldimizga keltiraylik (40-rasm).



40-pacm

O'tkazgichni ko'plab elementar qismlarga bo'lamiz va bunday qismlardan biri  $dl$  dan  $r$  uzoqlikda bo'lgan  $O$  nuqtasiga  $I_0 dl_0$  tok elementini joylashtiramiz. U holda Amper qonuni (6) ga muvofiq, bu elementga

$$dF = \frac{\mu_0 I I_0 dl dl_0 \sin \alpha \sin \beta}{4\pi r^2} \quad (7)$$

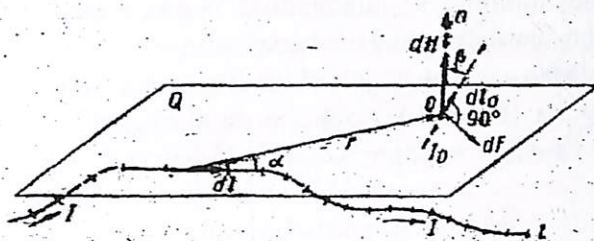
kuch ta'sir qiladi, bu yerda  $\alpha$  - o'tkazgichning  $dl$  qismida maydon hosil qilayotgan  $I$  tok yo'nalishi bilan  $r$  radius-vektor yo'nalishi orasidagi burchak,  $\beta$  -  $I_0 dl_0$  tok elementi yo'nalishi bilan  $dl$  va  $r$  joylashgan  $Q$  tekislikka o'tkazilgan  $n$  normal yo'nalishi orasidagi burchak.

(7) formulaning  $I_0 dl_0$  tok elementiga bog'liq qismini ajratamiz va uni  $dH$  bilan belgilaymiz:

$$dH = \frac{Idl \sin \alpha}{4\pi r^2} \quad (8)$$

$dH$  kattalik faqat magnit maydoni hosil qiluvchi  $Idl$  tok elementi va ko'rilayotgan  $O$  nuqtaning shu maydondagi vaziyatiga bog'liq. Shuning uchun  $dH$  kattalik magnit maydonining miqdoriy xarakteristikasi bo'ladi; uni magnit maydonining kuchlanganligi deyiladi. (8) ifodani vektor ko'rinishda yozsak, vektor algebrasi qoidalariga ko'ra maydon kuchlanganligini yo'nalishini aniqlasak bo'ladi.

$$d\vec{H} = k \frac{I[d\vec{l} \vec{r}]}{r^3} \quad (8a)$$



40-pacm

O'tkazgichni ko'plab elementar qismlarga bo'lamiz va bunday qismlardan biri  $dl$  dan  $r$  uzoqlikda bo'lgan  $O$  nuqtasiga  $I_0 dl_0$  tok elementini joylashtiramiz. U holda Amper qonuni (6) ga muvofiq, bu elementga

$$dF = \frac{\mu_0 I I_0 dl dl_0 \sin \alpha \sin \beta}{4\pi r^2} \quad (7)$$

kuch ta'sir qiladi, bu yerda  $\alpha$  - o'tkazgichning  $dl$  qismida maydon hosil qilayotgan  $I$  tok yo'nalishi bilan  $r$  radius-vektor yo'nalishi orasidagi burchak,  $\beta$  -  $I_0 dl_0$  tok elementi yo'nalishi bilan  $dl$  va  $r$  joylashgan  $Q$  tekislikka o'tkazilgan  $n$  normal yo'nalishi orasidagi burchak.

(7) formulaning  $I_0 dl_0$  tok elementiga bog'liq qismini ajratamiz va uni  $dH$  bilan belgilaymiz:

$$dH = \frac{Idl \sin \alpha}{4\pi r^2} \quad (8)$$

$dH$  kattalik faqat magnit maydoni hosil qiluvchi  $Idl$  tok elementi va ko'rilayotgan  $O$  nuqtaning shu maydondagi vaziyatiga bog'liq. Shuning uchun  $dH$  kattalik magnit maydonining miqdoriy xarakteristikasi bo'ladi; uni magnit maydonining kuchlanganligi deyiladi. (8) ifodani vektor ko'rinishda yozsak, vektor algebrasi qoidalariga ko'ra maydon kuchlanganligini yo'nalishini aniqlasak bo'ladi.

$$d\vec{H} = k \frac{I[d\vec{l} \vec{r}]}{r^3} \quad (8a)$$

Magnit maydonining kuchlanganligi maydon kuch chiziqlariga urinma bo'ylab yo'nalgan *vektor* kattaligidir.

(8) formuladan magnit maydoni kuchlanganligining o'lchamligi

$$[H] = \frac{[I] [l]}{[r^2]} = \left[ \frac{A}{m} \right]$$

ekanligi kelib chiqadi. Shu kattalik – amper taqsim metrning o'zi magnit maydoni kuchlanganligining o'lchov birligi uchun qabul qilingan.

Magnit maydoni kuchlanganligi ifodasi (8) ni Amper qonuni (7) ga kiritsak, u holda

$$dF = \mu_0 I_0 dl_0 dH \sin \beta \quad (9)$$

bu yerda  $\beta$  – tok ( $I_0$ ) va magnit maydoni ( $dH$ ) yo'nalishlari orasidagi burchak. (9) formula Amper formulasi deyiladi va magnit maydonining shu maydonda joylashgan  $I_0 dl_0$  tok elementiga ta'sir qiluvchi kuchning shu maydon kuchlanganligiga bog'lanishini ifodalaydi. Bu kuchning yo'nalishi "chap qo'l qoidasi" ga muvofiq aniqlanadi: agar chap qo'limiz kaftini magnit maydoni kuchlanganlik vektori kiradigan qilib ochsak va yozilgan to'rtta barmog'imiz tok yo'nalishida joylashsa, ta'sir qiluvchi kuchning yo'nalishini bosh barmog'imiz ko'rsatadi (41-rasm).

(9) formulada  $\beta = 90^\circ$  (ya'ni  $I_0 dl_0$  tok elementi magnit maydoniga perpendikulyar joylashgan) deb faraz qilsak, quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$dH = \frac{1}{\mu_0} \frac{dF}{I_0 dl_0} \quad (9')$$

Shu ifodaga va 40-rasmga asoslanib, magnit maydoni kuchlanganligining quyidagi ta'rifini berish mumkin: *magnit maydonining kuchlanganligi maydon kuch chiziqlariga urinma yo'nalgan bo'lib, kattalik jihatdan maydonning birlik tok elementiga (vakuumda maydonga perpendikulyar joylashgan) ta'sir qiluvchi kuchining magnit doimiysiga nisbatiga tengdir.*

(8), (8a) munosabatlar *Bio-Savar-Laplas qonunining* analitik ko'rinishidir va prinsip jihatdan ixtiyoriy shakldagi simdan oqayotgan tokning fazoning ixtiyoriy nuqtasida hosil qilgan magnit maydoni  $H$  kuchlanganligini miqdoriy hisoblash va yo'nalishini aniqlash mumkin. Ravshanki,  $l$  o'tkazgichdan oqayotgan  $I$  tokning  $O$  nuqtada hosil qilgan magnit maydonining  $H$  to'la kuchlanganligini hisoblash uchun o'tkazgichning barcha  $dl$  elementar qismlari hosil qilgan  $dH$  elementar kuchlanganliklari geometrik qo'shish keltirilgan (40-rasmga qarang).

Agar o'tkazgich butunlayicha bitta tekislikda joylashgan bo'lsa, barcha qismlarining  $dH$  maydon kuchlanganliklari bir tomonga yo'nalgan bo'ladi va bu holda geometrik qo'shishni algebratik qo'shish bilan almashtirish, ya'ni integrallash mumkin. U holda Bio-Savar-Laplas qonuni quyidagi ko'rinishga keladi:

$$H = \int_{(l)} dH = \frac{1}{4\pi} \int_{(l)} \frac{I \sin \alpha}{r^2} dl \quad (10)$$

(l) ishorasi integrallash o'tkazgichning butun uzunligi bo'ylab bajarilayotganini bildiradi. Kuchlanganlik yo'nalishi tok yo'nalishi bo'ylab kiritilayotgan parma qoidasiga muvofiq aniqlanadi.

### 19-§. Diamagnit, paramagnit va ferromagnit moddalar. Magnit singdiruvchanlik. Magnit induksiyasi. Magnit induksiya vektor oqimi

Shu vaqtgacha o'rganilayotgan magnit maydoni vakuumda (yoki amalda havoda ham xuddi shuning o'zi bo'ladi) mavjuddir deb faraz qilib keldik. Endi magnit maydoniga muhit (modda) qanday ta'sir ko'rsatishini o'rganaylik.

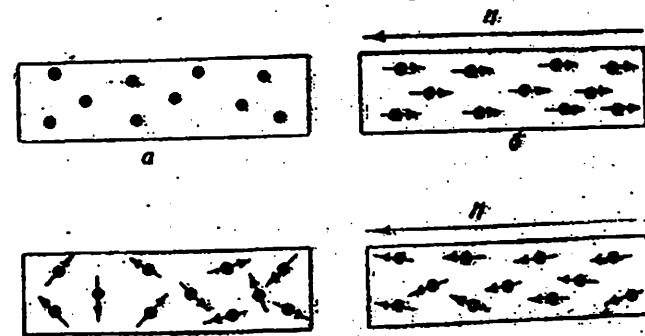
Tajriba va nazariyaning ko'rsatishicha, *magnit maydoniga joylashtirilgan barcha moddalar magnit xossalarga ega bo'ladi, ya'ni magnitlanadi*, va tashqi (dastlabki) maydonni *biyor* darajada o'zgartiradi. Ma'lum bo'lishicha, ba'zi moddalar tashqi maydonni zaiflashtirsa, boshqalari uni zo'raytirar ekan. Magnit maydonni zaiflashtiruvchi moddalar *diamagnit* moddalar, zo'raytiruvchi

moddalar esa *paramagnit* moddalar deyiladi, yoki qisqa qilib, *diamagnetiklar* va *paramagnetiklar* deyiladi. Paramagnetiklar ichida tashqi maydonni juda ham kuchaytirib yuboradigan moddalar gruppasi keskin ajralib turadi. Bu moddalar *ferromagnetiklar* deyiladi.

Moddalarning ko'pchiligi diamagnetiklarga kiradi. Diamagnetiklarga, fosfor, oltingugurt, surma, uglerod singari elementlar, ko'pchilik metallar (vismut, simob, oltin, kumush, mis va boshqalar), ko'pchilik kimyoviy birikmalar (jumladan, suv va deyarli barcha organik birikmalar) kiradi. Paramagnetiklarga ba'zi gazlar (kislorod, azot) va metallar (alyuminiy, volfram, platina, ishqor va ishqoriy yer metallari) kiradi. Ferromagnetiklar gruppasi anchagina kam sonli, unga temir, nikel, kobalt, gadoliny va disproziy, shuningdek, bu metallarning ba'zi qotishmalari va oksidlari hamda marganets va xromning ba'zi qotishmalari kiradi.

Dia-, para- va ferromagnetizmning fizikaviy xususiyatlari sabablarini aniqlaylik. Har qanday moddaning atomlari va molekulalarida aylanma toklar, elektronlarning yadro atrofidagi orbitalar bo'ylab harakatidan hosil bo'ladigan *orbital toklari* bo'ladi. Har bir orbital tokka orbital magnit momenti deb ataladigan ma'lum magnit momenti mos keladi. Bundan tashqari, elektronlarning *xususiy yoki spin magnit momenti* ham bo'ladi. Shuningdek, atom yadrosining ham xususiy magnit momenti bo'ladi. Elektronlar orbital va spin magnit momentlarining hamda yadro xususiy magnit momentining geometrik yig'indisi modda atomining (molekulasining) magnit momentini hosil qiladi.

Diamagnit moddalarda atom (molekula) ning yig'indi magnit momenti nolga teng, chunki atomdagi orbital, spin va yadro magnit momentlari o'zaro kompensatsiyalanadi (yadro magnit momenti ulushi juda kichik bo'ladi) (42-a rasm; atomlar nuqtalar bilan tasvirlangan). Biroq tashqi magnit maydoni ta'sirida bu atomlarda hamma vaqt tashqi maydonga qarama-qarshi yo'nalgan magnit momenti hosil bo'ladi (induksiyaalanadi) (42-b rasm; induksiyaalanagan magnit momentlari strelkalar bilan tasvirlangan;  $H$  magnit maydon kuchlanganligi). Natijada diamagnit muhit magnitlanadi va o'zining xususiy magnit maydonini hosil qiladi, magnit maydon tashqi maydonga qarama-qarshi yo'nalgan bo'ladi va uni zaiflashtiradi.

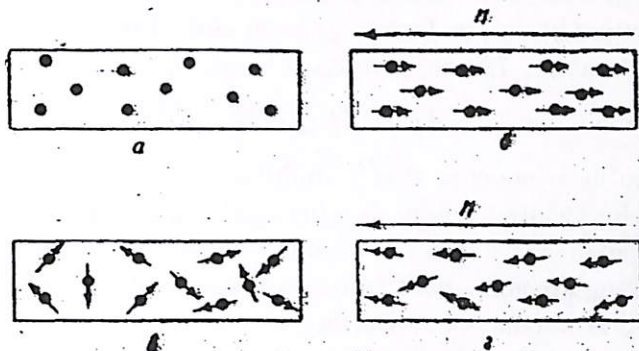


42- rasm.

Diamagnetik atomlarining induksiyaalanagan magnit momentlari tashqi maydon mavjud bo'lganicha saqlanadi. Tashqi maydon yo'qotilganda atomlarning induksiyaalanagan magnit momentlari ham yo'qotiladi va diamagnit magnitsizlanadi.

Paramagnit moddalarning atomlari (molekulalari)da orbital, spin va yadro magnit momentlari bir-birini kompensatsiyalamaydi. Shuning uchun paramagnetik atomlari hamma vaqt magnit momentiga ega bo'ladi va go'yo elementar magnitlar bo'ladi. Biroq atom magnit momentlari tartibsiz joylashgan va shuning uchun paramagnit muhit butunicha magnit xossalarni namoyon qilmaydi (42-v rasm). Tashqi maydon paramagnetik atomlarini shunday buradiki, ularning magnit momentlarining ko'pchiligi asosan maydon yo'nalishi bo'ylab joylashadi (42-g rasm); to'la oriyentatsiyalanishiga atomlarning tartibsiz issiqlik harakati to'sqinlik qiladi. Natijada paramagnetik magnitlanadi va o'zining xususiy magnit maydonini vujudga keltiradi, bu xususiy magnit maydon hamma vaqt tashqi maydon yo'nalishiga mos keladi va shuning uchun uni kuchaytiradi. Tashqi maydon yo'qolganida issiqlik harakati darhol atom magnit momentlarining oriyentatsiyasini buzadi va paramagnetik magnitsizlanadi. Paramagnetikda, albatta, diamagnit effekti ham, ya'ni tashqi maydonni susaytiruvchi induksiyaalanagan magnit momentlarining paydo bo'lishi ham mumkin. Biroq diamagnit effekt, kuchliroq bo'lgan paramagnit effekt fonida sezilmaydi.





42- rasm.

Diamagnetik atomlarining induksiyalangan magnit momentlari tashqi maydon mavjud bo'lganicha saqlanadi. Tashqi maydon yo'qotilganda atomlarning induksiyalangan magnit momentlari ham yo'qotiladi va diamagnet magnitsizlanadi.

Paramagnet moddalarning atomlari (molekulalari)da orbital, spin va yadro magnit momentlari bir-birini kompensatsiyalamaydi. Shuning uchun paramagnetik atomlari hamma vaqt magnit momentiga ega bo'ladi va go'yo elementar magnitlar bo'ladi. Biroq atom magnit momentlari tartibsiz joylashgan va shuning uchun paramagnet muhit butunicha magnit xossalarni namoyon qilmaydi (42-v rasm). Tashqi maydon paramagnetik atomlarini shunday buradiki, ularning magnit momentlarining ko'pchiligi asosan maydon yo'nalishi bo'ylab joylashadi (42-g rasm); to'la oriyentatsiyalanishiga atomlarning tartibsiz issiqlik harakati to'sqinlik qiladi. Natijada paramagnetik magnitlanadi va o'zining xususiy magnit maydonini vujudga keltiradi, bu xususiy magnit maydon hamma vaqt tashqi maydon yo'nalishiga mos keladi va shuning uchun uni kuchaytiradi. Tashqi maydon yo'qolganida issiqlik harakati darhol atom magnit momentlarining oriyentatsiyasini buzadi va paramagnetik magnitsizlanadi. Paramagnetikda, albatta, diamagnet effekti ham, ya'ni tashqi maydonni susaytiruvchi induksiyalangan magnit momentlarining paydo bo'lishi ham mumkin. Biroq diamagnet effekt, kuchliroq bo'lgan paramagnet effekt fonida sezilmaydi.



Shunday qilib, agar bo'sh fazoda kuchlanganligi  $H$  bo'lgan magnit maydoni mavjud bo'lsa, bu fazoni bir jinsli muhit bilan to'ldirilganda magnit maydonining  $H'$  natijaviy kuchlanganligi

$$H' = H \pm \Delta H \quad (11)$$

ga teng bo'ladi, bu yerda  $\Delta H$  – muhitning o'zi hosil qilgan maydonning kuchlanganligi; plus va minus holda paramagnit yoki diamagnit belgisi muhit bo'lgan hol uchun yoziladi. Muhitning o'zi diamagnit yoki paramagnit effekt hisobiga hosil qiladigan qo'shimcha magnit maydon kuchlanganligi tashqi magnit maydon kuchlanganligiga proporsional bo'ladi. Shuning uchun (11) formulani quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$H' = \mu H \quad (12)$$

bu yerda  $\mu$  o'lchamsiz proporsionallik koeffitsiyenti bo'lib, muhitning nisbiy magnit singdiruvchanligi (yoki oddiy qilib, magnit singdiruvchanlik) deb ataladi.  $\mu$  koeffitsiyenti muhitning magnit xossalari, uning tashqi maydon ta'sirida magnitlanish qobiliyatini bildiradi. Ravshanki, vakuumda  $\mu = 1$  ( $H' = H$ ), diamagnetiklarda  $\mu < 1$  ( $H' < H$ ), paramagnetiklarda esa  $\mu > 1$  ( $H' > H$ ). Umuman aytganda, diamagnit va paramagnit moddalarning (ferromagnetiklarni hisobga olmaganda) magnit singdiruvchanligi birdan kam farq qiladi. 1-jadvalda ba'zi moddalarning magnit singdiruvchanligi keltirilgan.

1-jadval

| Diamagnetiklar | $\mu$    | Paramagnetiklar | $\mu$     | Ferromagnetiklar | $\mu$       |
|----------------|----------|-----------------|-----------|------------------|-------------|
| Vodorod        | 0,999937 | Azot            | 1,000013  | Kobalt           | 100-180     |
| Suv            | 0,999991 | Kislorod        | 1,000017  | Nikel            | 200-300     |
| Mis            | 0,999912 | Alyuminiy       | 1,000023  | Temir            | 5000-10000  |
| Vismut         | 0,999824 | Volfram         | 1,0000175 | Po'lat           | 10000-20000 |

Moddadagi magnit maydonini natijaviy  $H$  kuchlanganlik bilan emas  $H'$  ning  $\mu_0$  magnit doimiysiga ko'paytmasiga teng bo'lgan  $V$  kattalik bilan xarakterlash qabul qilingan, bu kattalik *magnit*

maydonining induksiyasi (*magnit induksiya*) deyiladi.

$$B = \mu_0 H'$$

yoki (12) formulaga muvofiq,

$$B = \mu_0 \mu H \quad (13)$$

$V$  ning o'lchamligi  $[B] = [\mu_0][H] = [kg \cdot sek]^{-2} \cdot [A^{-1}]$ . Magnit induksiya  $V$  ham vektor kattalikdir. Bir jinsli izotrop muhitda  $V$  va  $H$  ning yo'nalishlari ustma-ust tushadi.

$\mu_0 \mu = \mu_{abs}$  ko'paytma muhitning absolyut magnit singdiruvchanligi deyiladi. Uning o'lchamligi va o'lchov birligi ham  $\mu_0$  niki singari bo'ladi. Vakuumda  $\mu = 1$  bo'lgani uchun vakuumdagi magnit induksiya

$$B_0 = \mu_0 H \quad (14)$$

bo'ladi. U holda (13) formulani shunday ko'rinishda yozish mumkin

$$B = \mu B_0 \quad (15)$$

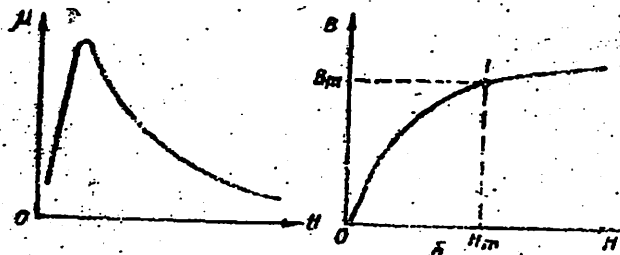
bundan  $\mu$  kattalikning ta'rifi kelib chiqadi: muhitning nisbiy magnit singdiruvchanligi magnit maydonining induksiyasi shu maydon o'ragan fazoni shu muhit bilan to'ldirganda necha marta o'zgarishini bildiradi.

Vakuumda turli shakldagi tokli o'tkazgichlarning hosil qilgan magnit maydonlari kuchlanganliklari formulalari chiqarilgan edi. Agar maydonlar vakuumda emas, nisbiy magnit singdiruvchanligi  $\mu$  bo'lgan muhitda hosil qilinsa, bu formulalarning har ikki qismini  $\mu$  ga ko'paytirib va (13) formulani hisobga olib, bu o'tkazgichlar magnit maydonlari induksiyasi  $V$  ning tegishli ifodalarini olamiz. Masalan, aylanma tok markazida magnit maydonining induksiyasi shunday formula bilan beriladi:

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

bu yerda  $\mu_0$  – magnit doimiysi.

Ferromagnetiklarda magnit singdiruvchanlik juda kattagina bo‘lib qolmasdan, shu bilan birga o‘zgaruvchandir (yuqoridagi jadvalga qarang), u magnitlovchi maydonning  $H$  kuchlanganligiga bog‘liq.  $H$  ortishi bilan  $\mu = 1$  dastlab tez ortadi, maksimumga erishadi va so‘ngra qiymatga yaqinlashib (juda kuchli maydonlarda) kamayadi (43-a rasm).

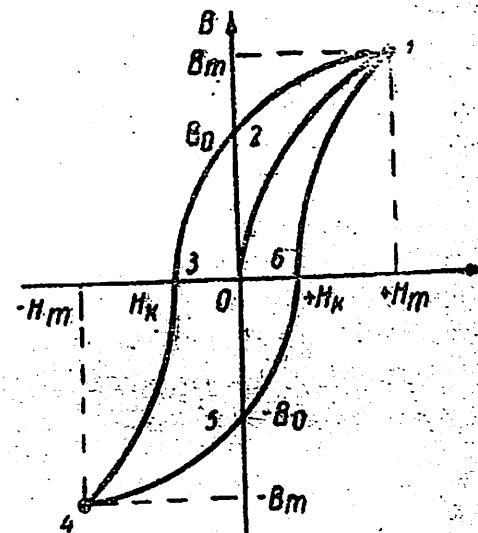


43- rasm.

Shuning uchun, garchi (13) formula ferromagnit moddalar uchun ham to‘g‘ri bo‘lib qolsa-da, bu moddalarda magnit induksiya endi magnitlovchi maydon kuchlanganligiga proporsional bo‘lmaydi: uncha katta bo‘lmagan  $H_m$  kuchlanishda  $B_m$  induksiya katta qiymatga (to‘yinish qiymatiga) erishadi, shundan so‘ng u sekin, ya‘ni taxminan paramagnit moddalardagi singari,  $H$  o‘zgarishiga proporsional ravishda o‘zgaradi (43-b rasm).  $\mu$  va  $V$  ning  $H$  ga bog‘liqligini birinchi marta 1872 yilda A.G.Stoletov aniqlagan edi.

Agar, masalan,  $B_m$  to‘yinish holatigacha magnitlangan ferromagnetikda maydon kuchlanganligi  $H$  ni kamaytirish boshlasak, u holda  $V$  induksiya ham kamayadi; biroq u endi 44-rasmda ko‘rsatilgan grafikdagi 10 chiziq bilan emas, balki 12 chiziq orqali kamayadi.

$H = 0$  bo‘lganda ferromagnetik to‘la ra-vishda magnitsizlanmaydi: unda  $V_0$  qol-diq magnit induksiya saqlanib qoladi.



44- rasm.

Ferromagnetik to‘la ravishda magnitsizlanishi uchun  $H = -H_k$  ga teng kuchlanganlikli qarama-qarshi tashqi maydon hosil qilish zarur; bu kuchlanganlik *koersitiv kuch* deb ataladi. Qarama-qarshi maydonni yanada kuchaytirishda ferromagnetik qayta magnitlana boshlaydi (34 chiziq) va  $H = -H_m$  bo‘lganda qarama-qarshi yo‘nalishda to‘yinishgacha magnitlanadi ( $B = -B_m$ ). So‘ngra ferromagnetikni yana magnitsizlash (456 chiziq) va qaytadan  $B_m$  gacha qayta magnitlash (61 chiziq) mumkin. Magnit induksiya o‘zgarishlarining magnitlovchi maydon kuchlangan-ligi o‘zgarishlaridan bunday orqada qolish hodisasi magnit gisterezisi deb, 1234561 berk egri chiziq esa gisterezis sirtmog‘i deyiladi. Gisterezis sirtmog‘i bilan chegaralangan maydon tashqi maydonning ferromagnetikni bir marta qayta magnitlash uchun sarf qilingan ishini xarakterlaydi. Bu ish issiqlik tarzida ajraladi. Ravshanki, ferromagnetiklarning qayta magnitlanishi uchun energiya isrofini kamaytirish uchun gisterezis sirtmog‘i yuzasi kichik, demak, koersitiv kuch qiymati kichik bo‘lgan ferromagnetiklardan (*magnitli-yumshoq materiallardan*) foydalanish kerak.

Ferromagnetiklarning yana bir muhim xususiyati bor: har bir ferromagnetik uchun Kyuri nuqtasi deb ataluvchi aniq  $\theta$  tempe-

raturada, ular o'zlarining magnit xossalari yo'qotadi (masalan, temir uchun bu temperatura  $\theta = 770^{\circ}C$ , nikel uchun  $\theta = 360^{\circ}C$ ). Kyuri nuqtasidan yuqori temperaturada ferromagnetik  $\mu < 1$  bo'lgan oddiy paramagnetikka aylanadi.

#### Nazorat savollari

1. Elektromagnit maydon nima?
2. Elektromagnit tebranishlar deb nimaga aytiladi?
3. Tebranish konturi.
4. Tomson formulasi.
5. Magnit maydoni va uni xarakterlovchi kattaliklar.
6. Konturning magnit momenti.
7. Magnit maydon induksiyasi, o'lchov birligi.
8. Magnit induksiya chiziqlari va uning yo'nalishi.
9. Magnit maydonlar superpozitsiya prinsipi.
10. Bio-Savar-Laplas qonuni.
11. To'g'ri tok magnit maydonining induksiyasi.
12. Aylanma tok markazidagi magnit maydon induksiyasi.
13. Solenoid markazidagi magnit maydon induksiyasi.
14. Magnit maydonning tokli o'tkazgichga ta'siri. Amper kuchi.
15. Tokli o'tkazgichni magnit maydonda ko'chirishda bajarilgan ish.
16. Magnit maydonni tokli o'tkazgichga ta'sir kuchi momenti.
17. Tokli o'tkazgichning o'zaro ta'siri.
18. Tokli o'tkazgichning magnit maydonda aylanish tezligi.
19. Siklik tezlatgichlar. Magnitogidrodinamik generator

## IV. ELEKTROMAGNIT INDUKSIYA VA O'ZGARUVCHAN TOK

### 20-§. Elektromagnit induksiya. Faradey qonuni. Lens qoidasi. Fuko toklari.

1831 yilda Faradey magnit maydonda harakatlanayotgan berk konturda tok hosil bo'lish hodisasini tajribada o'rgandi.

Magnit maydonining berk konturda hosil qilgan toki *induksiya toki*, magnit maydoni vositasida tok hosil qilish hodisasining o'zi esa *elektromagnit induksiya* deb ataladi. Induksiya tokini hosil qiluvchi elektr yurituvchi kuch *induksiya elektr yurituvchi* kuchi deb ataladi.

Faradeyning elektromagnit induksiya hodisasini o'rganishga doir bir necha tajribalarni ko'raylik (45-rasm).

1. Tekisligi rasm tekisligiga perpendikulyar bo'lgan berk konturga magnitning shimoliy qutbi yaqin keltiriladi (45-a rasm). Bunda konturda  $I_i$  tok induksiyalanadi va  $G$  galvonometr strelkasini og'diradi. Tashqi doimiy magnit va induksiya tokining magnit maydonlari  $V$  va  $B_i$  chiziqlari bilan tasvirlangan. Agar magnit harakatdan to'xtatilsa, induksiya toki ham yo'qoladi.

2. Magnitning shimoliy qutbi konturdan uzoqlashtiriladi (45-b rasm). U holda konturda oldingi holda induksiyalangan tokka qarama-qarshi tok induksiyalanadi.

3. Konturga magnitning janubiy qutbi yaqinlashtiriladi (45-v rasm). Bu holda induksiyalangan tokning yo'nalishi magnitning shimoliy qutbini uzoqlashtirgandagi tok bilan mos bo'ladi.

4. Magnitning janubiy qutbi konturdan uzoqlashtiriladi (45-g rasm). Bunda induksiyalangan tok magnitning shimoliy qutbini yaqinlashtirganimizdagi yo'nalishda bo'ladi.

5. Konturda ( $K$  kalit yordamida)  $I$  tok ulanadi yoki bu konturda bo'lgan tokni ( $R$  reostat bilan) ko'paytiriladi (45-d rasm). Bunda qo'shni konturda  $I$  tokka qarama-qarshi yo'nalgan  $I_i$  tok induksiyalanadi. Agar tok o'zgarishdan to'xtatilsa, induksiya toki yo'qoladi.

6. Konturda tok uziladi yoki mavjud bo'lgan  $I$  tok kamaytiriladi (45-ye rasm). U holda qo'shni konturda  $I$  tok bilan bir xil yo'nalgan  $I_i$  tok induksiyalanadi.

## IV. ELEKTROMAGNIT INDUKSIYA VA O'ZGARUVCHAN TOK

### 20-§. Elektromagnit induksiya. Faradey qonuni. Lens qoidasi. Fuko toklari.

1831 yilda Faradey magnit maydonda harakatlanayotgan berk konturda tok hosil bo'lish hodisasini tajribada o'rgandi.

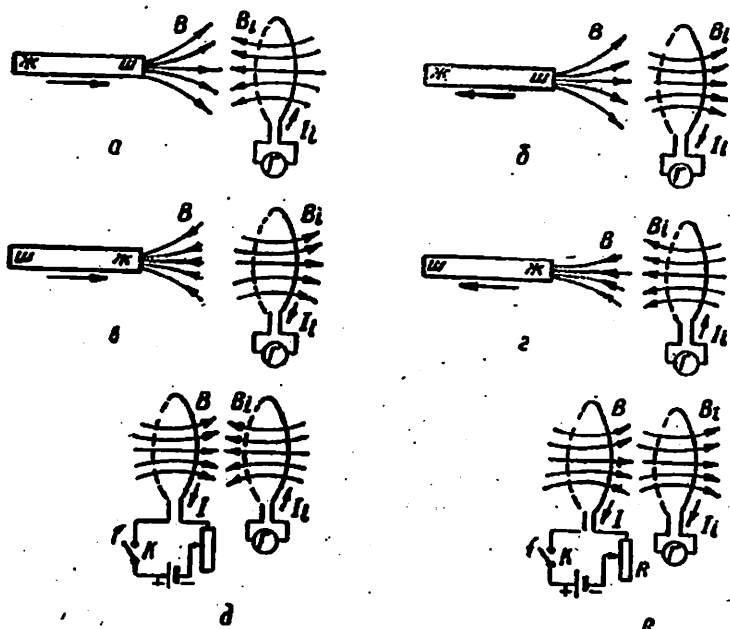
Magnit maydonining berk konturda hosil qilgan toki *induksiya toki*, magnit maydoni vositasida tok hosil qilish hodisasining o'zi esa *elektromagnit induksiya* deb ataladi. Induksiya tokini hosil qiluvchi elektr yurituvchi kuch *induksiya elektr yurituvchi* kuchi deb ataladi.

Faradeyning elektromagnit induksiya hodisasini o'rganishga doir bir necha tajribalarni ko'raylik (45-rasm).

1. Tekisligi rasm tekisligiga perpendikulyar bo'lgan berk konturga magnitning shimoliy qutbi yaqin keltiriladi (45-a rasm). Bunda konturda  $I_i$  tok induksiyalanadi va  $G$  galvanometr strelkasini og'diradi. Tashqi doimiy magnit va induksiya tokining magnit maydonlari  $V$  va  $B_i$  chiziqlari bilan tasvirlangan. Agar magnit harakatdan to'xtatilsa, induksiya toki ham yo'qoladi.

2. Magnitning shimoliy qutbi konturdan uzoqlashtiriladi (45-b rasm). U holda konturda oldingi holda induksiyalangan tokka qarama-qarshi tok induksiyalanadi.

3. Konturga magnitning janubiy qutbi yaqinlashtiriladi (45-v  
rasm). U holda konturda oldingi holda induksiyalangan tokka qarama-qarshi tok induksiyalanadi.



45- rasm.

O'tkazilgan tajribalarning xarakterli xususiyati shundaki, ularning har birida kontur bilan chegaralangan yuza orqali o'tgan magnet induksiya oqimi o'zgaradi. Haqiqatdan ham *a*, *v*, *d* hollarda vaqt o'tishi bilan oqim ortadi, *b*, *g*, *ye* hollarda esa oqim vaqt o'tishi bilan kamayadi.

Faradey elektromagnet induksiya hodisasiga oid o'tkazgan tajribalaridan quyidagi muhim xulosaga keladi:

Berk kontur bilan chegaralangan yuza orqali o'tuvchi magnet oqimi o'zgargan barcha hollarda berk konturda tok induksiyalanadi; induksiya elektr yurituvchi kuchining kattaligi  $\mathcal{E}_i$  magnet induksiya oqimining o'zgarish tezligi  $\frac{d\Phi}{dt}$  ga proporsional:

$$\mathcal{E}_i \sim \frac{d\Phi}{dt} \quad (1)$$

bu yerda  $F$  - magnet induksiya oqimi,  $t$  - vaqt.

1833 yilda Lens induksiya tokining yo'nalishini aniqlaydigan umumiy qoidani aytdi, bu **Lens qoidasi** deb ataldi:

induksiyalangan tok shunday yo'nalishda bo'ladi, uning xususiy magnet maydoni bu tokni yuzaga keltirayotgan magnet induksiya oqimining o'zgarishini kompensatsiyalaydi.

Boshqacha qilib aytganda, induksiya toki shunday yo'nalganki, uning xususiy magnet maydoni bu tokni hosil qilgan magnet induksiya oqimining o'zgarishiga to'sqinlik qiladi.

Har qanday elektromagnet induksiya holida ham bir tur energiya boshqa tur energiyaga aylanadi. Har qanday energiya o'zgarishlarida energiyaning saqlanish va bir turdan ikkinchi turga aylanish qonuni bajariladi, shuning uchun induksiya elektr yurituvchi kuchi kattaligini bu qonunga asoslanib topish mumkin. Berk konturda  $l$  uzunlikdagi o'tkazgich  $dt$  vaqt ichida  $dx$  masofaga ko'chsa, bunda bajarilgan ish  $dA' = I \cdot d\Phi$  ga teng bo'ladi. Bunda  $I$  - konturdagi tok kuchi,  $d\Phi$  - tok oqib o'tayotgan yuza orqali magnet induksiya oqimining o'zgarishi. Bu vaqtda Joule-Lens qonuniga ko'ra kontur qiziydi, konturning qizish ishi  $dA'' = I^2 R \cdot dt$  ga teng bo'ladi, bu yerda  $R$  - konturning to'la qarshiligi.

Konturning deformatsiyasi va qizishi konturga ulangan tok manbaining hisobiga bo'ladi. Chunki tok manbaining  $dt$  vaqtda bajargan ishi  $dA = \mathcal{E}_0 I \cdot dt$  ga teng, u holda energiyaning saqlanish qonuniga asosan quyidagi tenglikni yozamiz:

$$dA = dA' + dA'' \quad \text{yoki} \quad \mathcal{E}_0 I dt = I d\Phi + I^2 R dt$$

$$\text{bundan} \quad I = \frac{\mathcal{E}_0 - \frac{d\Phi}{dt}}{R} = \frac{\mathcal{E}_0 + \left(-\frac{d\Phi}{dt}\right)}{R}$$

Bu ifodani  $\mathcal{E}_0$  elektr yurituvchi kuchi tok manbaidan tashqari, yana kontur bilan chegaralangan yuza orqali magnet induksiya oqimining

o'zgarishi tufayli paydo bo'lgan qo'shimcha  $-\frac{d\Phi}{dt}$  E.Yu.K. li kontur

uchun Om qonuni ifodasi deb qarash mumkin. Ana shu qo'shimcha e.Y.k. induksiya elektr yurituvchi kuchidir:

$$\mathcal{E}_i = -\frac{d\Phi}{dt} \quad \text{yoki} \quad \mathcal{E}_i = -f \frac{d\Phi}{dt} \quad (2)$$

Shunday qilib, Faradey xulosasiga muvofiq induksiya elektr yurituvchi kuchi magnit induksiya oqimining o'zgarish tezligiga proporsional bo'lib chiqadi, proporsionallak koeffitsiyenti  $f=1$  deb olinadi. Faradey qonuni deb ataluvchi (2) ifoda universalidir: bu ifoda har qanday tur elektromagnit induksiya uchun o'rinalidir. Minus ishorasi  $\varepsilon_i$  induksiya elektr yurituvchi kuchining yo'nalishi induksiya tokining magnit maydoni magnit induksiya oqimining o'zgarishi  $d\Phi$  ga to'sqinlik qilishini anglatadi.

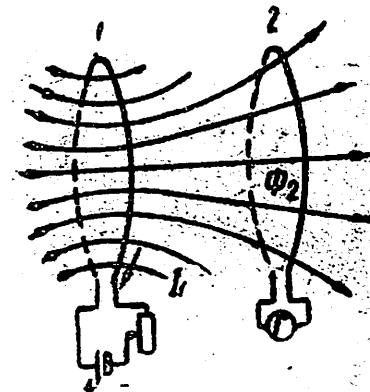
(2) formulaga asoslanib, magnit induksiya oqimining birligi-*Veber* kelib chiqadi. Agar kontur bilan chegaralangan yuza orqali o'tayotgan magnit induksiya oqimi 1 sek da 1 Vb ga o'zgarsa, u holda konturda 1V ga teng E.Yu.K. induksiyalanadi.  $\frac{1 \text{ Vb}}{1 \text{ sek}} = 1 \text{ V}$  bundan  $1 \text{ Vb} = 1 \text{ V} \cdot 1 \text{ sek}$ . ekanligi aniqlanadi.

O'zgaruvchan magnit maydonlari kirayotgan massiv yaxlit o'tkazgichlarda induksiya toklari vujudga keladi, bu toklar Fuko toklari deyiladi. Fuko toklari uyurmaviy toklardir: bu toklar o'tkazgichda magnit induksiya oqimiga perpendikulyar tekisliklarda o'tib o'tkazgichning yo'g'onligining o'zida berkiladi. Massiv (yaxlit) o'tkazgichning qarshiligi katta bo'lmagani uchun ular katta qiymatlarga erishishi va o'tkazgichni anchagina qizdirishi mumkin. Metallurgiyada Fuko toklari maxsus elektr pechlarida metall eritishda foydalanadi.

Fuko toklari hisobiga bo'ladigan energiya isroflarini kamaytirish uchun elektromagnitlar, transformatorlar, elektr generatorlari va elektr dvigatellarining o'zaklari bir-biridan elektrdan izolyatsiyalangan alohida plastinkalar yoki sterjenlardan qilinadi; so'nggi yillarda yig'ma temir o'zaklar o'rniga ferritdan qilingan yaxlit o'zaklar keng ishlatiladi.

## 21-§. O'zaro induksiya va o'zinduksiya

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



46- rasm.

Tokning konturda o'zgarishida boshqa (qo'shni)konturda tok uyg'otilishi *o'zaro induksiya* deb ataladi. Birinchi 1 konturdan  $I_1$  tok oqayapti deb faraz qilaylik (46-rasm). Bu tokning magnit maydonida qo'shni 2 kontur bo'lsin. 2 kontur bilan bog'langan  $\Phi_2$  magnit maydoni 1 kontur bilan bog'langan magnit oqimiga proporsional bo'ladi. Bio-Savar-Laplas qonuniga ko'ra 1 kontur bilan bog'langan magnit oqimi bu konturdagi  $I_1$  tok kuchiga proporsionaldir:

$$\Phi_1 = MI_1 \quad (3)$$

Bu yerda  $M$  proporsionallik koeffitsiyenti ikkala konturning *o'zaro induksiya koeffitsiyenti* yoki *o'zaro induktivligi* deyiladi.

Endi  $dt$  vaqt ichida 1 konturdagi tok  $dI_1$  kattalikka o'zgaradi, deb faraz qilaylik. U holda (3) formulaga muvofiq, 2 kontur bilan bog'langan magnit oqimi  $\Phi_2 = MdI_1$  kattalikka o'zgaradi, buning natijasida bu konturda o'zaro induksiya elektr yurituvchi kuchi paydo bo'ladi:

$$\varepsilon_2 = -\frac{d\Phi}{dt} = -M \frac{dI_1}{dt} \quad (4)$$

(4) formulaning ko'rsatishicha konturda hosil bo'ladigan o'zaro induksiya elektr yurituvchi kuchi qo'shni konturda tokning o'zgarish tezligiga proporsional va bu konturlarning o'zaro induktivligiga bog'liq bo'ladi.

O'zaro induktivlik va uning o'lchov birligini aniqlash uchun (3) formulani quyidagicha yozish mumkin:

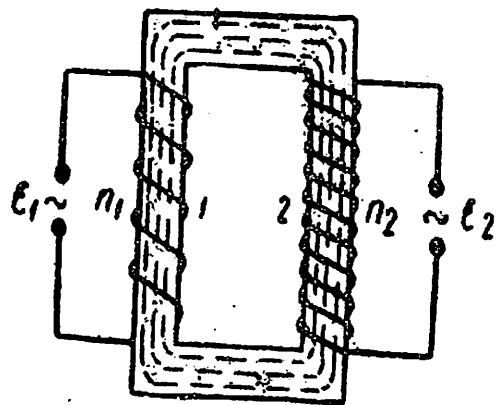
$$M = \frac{\Phi_2}{I_1} \quad (5)$$

Ravshanki, *ikki konturning o'zaro induktivligi konturlarning ikkinchisidan bir birlikka teng tok o'tganida konturlarning biri bilan bog'langan magnit oqimiga teng bo'ladi*. O'zaro induktivlikning o'lchov birligi *genri (Gn)* amerikalik fizik Genri nomi bilan yuritiladi:

$$1 \text{ Gn} = \frac{\text{Vb}}{\text{A}}.$$

O'zaro induktivlik konturning shakli, o'lchamlari va o'zaro joylashishiga va *muhitning magnit singdiruvchanligiga* bog'liq bo'lib, konturdagi tok kuchiga bog'liq emas.

Radiotexnikada o'zgaruvchan tokning kuchini va kuchlanishini o'zgartirish uchun qo'llaniladigan transformatorning ishlashi o'zaro induksiyaga asoslangan.



46- rasm.

Transformatorni 1876 yilda P.N.Yablochkov ixtiro qilgan. Transformatorning prinsipial sxemasi 47-rasmda ko'rsatilgan. O'ramlar soni  $n_1$  va  $n_2$  bo'lgan birlamchi 1 va ikkinchi 2 g'altaklar

(chulg'amlar) berk temir o'zakka kiygiziladi.

O'zakning magnit maydoni magnit induksiya chiziqlari bilan (berk uzuq chiziqlar) tasvirlangan.

Agar o'zakdagi magnit oqimi  $dt$  vaqtda  $d\Phi$  kattalikka o'zgarsa, u holda Faradey qonuniga asosan cho'lg'amlarda quyidagiga teng elektr yurituvchi kuchlar induksiyalanadi:

$$\varepsilon_1 = -\frac{d\Phi}{dt} n_1 \quad \text{va} \quad \varepsilon_2 = -\frac{d\Phi}{dt} n_2$$

Magnit oqimining bunday o'zgarishiga birlamchi chulg'amga ulangan  $\varepsilon_1$  ga teng bo'lgan tashqi o'zgaruvchan e.Y.k. sabab bo'ldi deb faraz qilaylik. U holda ikkinchi chulg'amda  $\varepsilon_2$  ga teng o'zaro induksiya e.Y.k. hosil bo'ladi. Bu elektr yurituvchi kuchlarning nisbati

$$\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} = \frac{n_2}{n_1} = k \quad (6)$$

ga teng bo'ladi.

$k$  kattalik *transformatsiya koeffitsiyenti* deb ataladi va ikkilamchi chulg'amdagi e.Y.k. ning birlamchi chulg'amdagi e.Y.k. dan necha marta katta (yoki kichik) ekanini ko'rsatadi.

Energiyaning saqlanish qonuniga asosan, har ikkala chulg'amda tokning quvvati deyarli bir xil bo'ladi. Shuning uchun quyidagi munosabatni yozish mumkin:

$$\varepsilon_1 I_1 = \varepsilon_2 I_2 \quad (7)$$

yoki (6) formulani hisobga olganda

$$\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1} = k \quad (8)$$

Bu yerda  $I_1$  va  $I_2$  - mos ravishda birlamchi va ikkilamchi chulg'amlardagi o'zgaruvchan toklar. Binobarin, chulg'amlardagi toklar bu chulg'amlardagi o'ramlar soniga teskari proporsional bo'ladi.

Kuchaytiruvchi transformator  $k > 1$ , pasaytiruvchi transformator  $k < 1$  bo'ladi.



Toki o'zgarayotgan kontur faqat boshqa qo'shni konturdagi tokni induksiyalab qolmay, balki o'z-o'zida ham tokni induksiyalaydi: bu hodisa *o'zinduksiya* deb ataladi.

Kontur bilan bog'langan  $F$  magnit oqimi konturdagi  $I$  tokka proporsional bo'ladi.

$$\Phi = L \cdot I \quad (9)$$

bu yerda  $L$  proporsionallik koeffitsiyenti bo'lib, *o'zinduksiya koeffitsiyenti* yoki *konturning induktivligi* deb ataladi.

$dt$  vaqtda konturdagi tok  $dI$  kattalikka o'zgarsa, konturdagi magnit oqimi:

$$d\Phi = L \cdot dI$$

kattalikka o'zgaradi, uning natijasida bu konturda o'zinduksiya elektr yurituvchi kuchi paydo bo'ladi.

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = -L \frac{dI}{dt} \quad (10)$$

Bu e.Y.k. tokning o'zgarish tezligiga proporsional va konturning induktivligiga bog'liq bo'ladi. Minus ishorasi o'zinduksiya elektr yurituvchi kuchi hamma vaqt asosiy tokning o'zgarishiga to'sqinlik qilishini ko'rsatadi.

Agar asosiy tok ortsa  $\left(\frac{dI}{dt} > 0\right)$ , u holda  $\varepsilon < 0$  va o'zinduksiya toki asosiy tokka teskari yo'nalgan. Agar asosiy tok kamaysa,  $\left(\frac{dI}{dt} < 0\right)$ , u holda  $\varepsilon > 0$  o'zinduksiya toki tok bilan birday yo'nalgan.

(9) formuladan  $L = \frac{\Phi}{I}$  ekanligi kelib chiqadi, ya'ni *agar konturdan bir birlikka teng tok o'tayotgan bo'lsa, konturning induktivligi u bilan bog'langan magnit oqimiga teng bo'ladi*. Induktivlik konturning shakli va o'lchamlariga hamda muhitning magnit singdiruvchanligiga bog'liq bo'ladi.

## 22-§. Magnit maydon energiyasi

Ma'lumki, magnit maydon tokning mavjudlik belgisi bo'lib, tokning paydo bo'lishi, o'zgarishi va yo'qolishiga mos ravishda

uning atrofida magnit maydon hosil bo'ladi. Bunda tok energiyasining bir qismi hamma vaqt magnit maydonni hosil qilishga sarflanadi. Binobarin, magnit maydonning energiyasi uni hosil qilish uchun sarflangan ishga teng bo'lishi kerak. Elektromagnit induksiya hodisasining, jumladan o'zinduksiya hodisasining fizikaviy mohiyati magnit magnit maydonining energiyasi mavjud ekanligi bilan tushuntiriladi.

*Elektromagnit induksiya hodisasi elektr toki energiyasi va magnit maydon energiyasining almashinishiga asoslangan.* Bu tasavvurlarga asoslanib, magnit maydoni energiyasi kattaligi ifodasini topamiz.

Induktivligi  $L$  bo'lgan biror konturda tok ulangan momentda,  $0$  dan  $I$  ga teng maksimal qiymatgacha o'sib, bu tok quyidagi magnit oqimini hosil qiladi:

$$\Delta\Phi = L \cdot \Delta I$$

Tokning kichik  $dI$  qiymatga o'zgarishidan magnit oqimi ham kichik

$$d\Phi = L \cdot dI \quad (11)$$

qiymatga o'zgaradi. Magnit oqimi  $d\Phi$  ga o'zgarishi uchun  $dA = I \cdot d\Phi$  ga teng ish bajarish lozim ekanligini hisobga olsak, (11) formulani quyidagicha yozish mumkin:  $dA = L \cdot I \cdot dI$ .

U holda magnit oqimi  $F$  ni hosil qilish uchun bajarilgan ish quyidagiga teng bo'ladi:

$$A = \int_0^I LI \cdot dI = \frac{LI^2}{2}$$

Shunday ekan, kontur bilan bog'liq bo'lgan magnit maydonining energiyasi  $W$ :

$$W = \frac{L^2}{2} \quad (12)$$

ifodadan aniqlanishi kelib chiqadi.

Demak, konturda hosil bo'lgan magnit maydonning energiyasi undan o'tayotgan  $I$  tokning kvadratiga proporsional bo'lib, konturning  $L$  induktivligiga bog'liqdir.

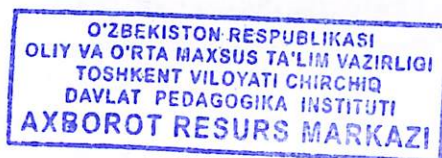
### III. ELEKTROMAGNETIZM

|                                                                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 16-§. Doimiy magnit va aylanma tok. Magnitlar va toklarning magnit maydoni .....                                                     | 67 |
| 17- §. Vakuumda toklarning o'zaro magnit ta'siri .....                                                                               | 69 |
| 18-§. Magnit maydonining kuchlanganligi. Amper formulasi. Bio-Savar-Laplas qonuni.....                                               | 72 |
| 19-§. Diamagnit, paramagnit va ferromagnit moddalar. Magnit singdiruvchanlik. Magnit induksiyasi. Magnit induksiya vektor oqimi..... | 75 |

### IV. ELEKTROMAGNIT INDUKSIYA VA O'ZGARUVCHAN TOK

|                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| 20-§. Elektromagnit induksiya. Faradey qonuni. Lens qoidasi. Fuko toklari..... | 83 |
| 21-§. O'zaro induksiya va o'zinduksiya.....                                    | 86 |
| 22-§. Magnit maydon energiyasi .....                                           | 90 |
| Foydalanilgan adabiyotlar .....                                                | 92 |

- 11453 -



Tursunov Ikromjon Gulamjonovich

## UMUMIY FIZIKA (Elektr va magnetizm)

*O'quv qo'llanma*

Muharrir: X. Tahirov  
Texnik muharrir: T. Raxmatullayev  
Musahhih: N. Ismatova  
Sahifalovchi: A. Muhammad

Nashr. lits № 2244. 25.08.2020 y.  
Bosishga ruxsat etildi 22.09.2021 y.  
Bichimi 60x84  $\frac{1}{16}$ . Ofset qog'ozi. "Times New Roman"  
garniturasi. Hisob-nashr tabog'i. 3,5.  
Adadi 100 dona. Buyurtma № 42.

«ZEBO PRINTS» MCHJ bosmaxonasida chop etildi.  
Manzil: Toshkent sh., Yashnobod tumani, 22-harbiy shaharcha.



**ISHONCHLI  
HAMKOR**  
NASHRIYOTI

ISBN 978-9943-7092-4-9



9 789943 709249