

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

O'RTA MAXSUS, KASB-HUNAR TA'LIMI MARKAZI
O'RTA MAXSUS, KASB-HUNAR TA'LIMINI
RIVOJLANTIRISH INSTITUTI

M. H. O'LMASOVA

FIZIKA

- ELEKTRODINAMIKA ASOSLARI
- TEBRANISHLAR VA TO'LQINLAR

2 - kitob

Akademik litseylar uchun o'quv qo'llanma

Professor B.M. Mirzaahmedov tahriri ostida

«O'QITUVCHI» NASHRIYOT-MATBAA IJODIY UYI
TOSHKENT — 2004

Taqrizchilar: **R.G. Isyanov** — pedagogika fanlari nomzodi,
dotsent;

N.N. Boltayev — fizika-matematika fanlari nomzodi;

L.F. Po'latova — fizika-matematika fanlari nomzodi.

Mazkur qo'llanma oliy o'quv yurtlari qoshida tashkil etilgan aniq fanlar yo'nalishi bo'yicha akademik litseylar uchun tasdiqlangan fizika kursi o'quv dasturi asosida yozilgan. Unda fizikaning elektrostatika, o'zgarmas tok, elektromagnitizm, tebranishlar va to'lqinlar bo'limlarining nazariy asoslari bayon qilingan. Hodisalar va jarayonlarning fizik mohiyatini yanada chuqurroq o'rganish, nazariy bilimlarni mustahkamlash maqsadida takrorlash uchun savollar, masala yechish namunalari va mustaqil yechish uchun masalalar berilgan.

Qo'llanma akademik litsey o'quvchilari uchun mo'ljallangan bo'lib, undan kasb-hunar kollejlari hamda o'rta maktablarning yuqori sinf o'quvchilari, shuningdek, fizika o'qituvchilari, fizikani mustaqil o'rganuvchilar ham foydalanishlari mumkin.

O' $\frac{1604010000 - 141}{353 (04) - 2004}$ Qat. buyurtma — 2004

ISBN5 — 645 — 04155 — 0

© „O'qituvchi“ NMIU, 2004.

SO‘ZBOSHI

Ushbu o‘quv qo‘llanma muallifning „Mexanika va molekular fizika“ nomli birinchi kitobining davomi bo‘lib, u fizikaning „Elektrostatika“, „O‘zgarmas tok“, „Turli muhitlarda elektr toki“, „Magnit maydon“, „Elektromagnit induksiya“, „Moddalarda magnit maydon“, „Mexanik tebranishlar va to‘lqinlar“, „Elektromagnit tebranishlar“ va nihoyat, „O‘zgaruvchan tok“ bo‘limlarini o‘z ichiga oladi. Shuningdek, bu bo‘limlarda o‘quv dasturida qayd etilgan, akademik litsey o‘quvchilari bilishi, ular haqida ma’lumotga ega bo‘lishi maqsadga muvofiq deb topilgan oliy o‘quv yurtlarida o‘qitiladigan bir qator yangi mavzular o‘quvchilarning bilim doirasini hisobga olib soddalashtirilgan holda bayon etilgan. Ostrogradskiy – Gaus teoremasi; segnetoelektrik va pyezoelektriklar; Kirxgof qoidalari; Om qonunining differensial ko‘rinishi; termoelektron energetik o‘zgartkichlar; integral sxemalar; Bio – Savar – Laplas qonuni; Xoll effekti; dia-, para- va ferromagnetiklar; bir fazali, ikki fazali va uch fazali toklar va boshqalar shunday mavzular qatoriga kiradi.

Muallif bu kitobda o‘zining birinchi kitobining kirish qismida qayd etilgan umumiy tartib-qoidalarni o‘zgartirmagan va unga amal qilgan. Xususan, har bir mantiqan tugallangan mavzulardan so‘ng takrorlash uchun savollar, nazariy bilimlarni mustahkamlash va amalda qo‘llanilishiga yo‘naltirilgan ayrim masalalarning izohli yechimlari hamda mustaqil yechish uchun masalalar berilgan.

Qo‘llanmaning yaratilishida o‘zining foydali maslahatlari bilan yaqindan yordam bergan fizika-matematika fanlari nomzodi S. Gaipovga, shuningdek, qo‘llanmaning ilmiy hamda uslubiy sifatini yaxshilashda katta hissa qo‘shgan taqrizchilar: pedagogika fanlari nomzodi, dotsent R.G. Isyanovga, fizika-matematika fanlari nomzodi L.F. Po‘latovaga, fizika-matematika fanlari nomzodi N.N. Boltayevga muallif o‘zining chuqur minnatdorchiligini izhor etadi.

Mazkur o‘quv qo‘llanma yuzasidan barcha fikr-mulohazalarni muallif mamnuniyat bilan qabul qiladi.



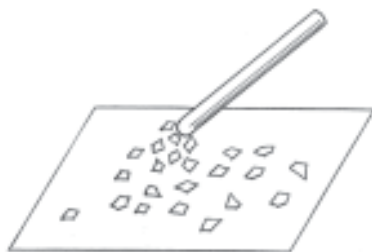
I bob. ELEKTROSTATIKA

1- §. Elektr zaryadlari va ularning o'zaro ta'siri

Hozirgi vaqtda elektr hodisasi va qonunlarining turmushda nihoyatda katta ahamiyatga ega ekanligini inkor qilib bo'lmaydi. Turli xil elektr mashina va asboblarning ishlashini tushunib olish uchun elektrning asosiy xususiyatlari va qonuniyatlarini oz miqdorda bo'lsa ham bilib olish zarur. Shuning uchun oldin ba'zi eng sodda elektr hodisalari bilan tanishib chiqamiz. Elektr hodisalari odamlarni tabiat mavjud bo'lgandan buyon qiziqtirib keladi. Mo'ynaga ishqalangan kahrabo tayoqchani pat, qog'oz, yengil buyum bo'lakchasi va shunga o'xshash yengil jismlarni o'ziga tortishini miloddan avvalgi 640 – 550- yillarda yashagan yunon faylasufi Fales Miletskiy kuzatgan bo'lib, bu hodisa mohiyati ochilmaganicha qolib ketdi va uzoq yillar davomida o'rganilmadi.

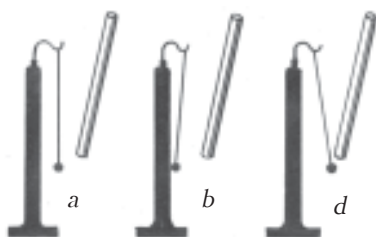
XVI asrda ingliz olimi Gilbert Fales tajribalarini takrorladi va tajribalar asosida kahrabodan boshqa jismlar ham bir-biri bilan ishqalanganda yengil jismlarni o'ziga tortishini aniqladi. Masalan, shisha tayoqchani shoyiga yoki kahrabo (ebonit) tayoqchani jun matoga ishqalab, so'ng maydalab yirtilgan qog'oz parchalariga yaqinlashtirilsa, qog'oz parchalarining ularga tortilishi kuzatildi (1- rasm).

Bunday hodisalar XVII asr boshlarida elektr deb ataldi. Elektr so'zi grekcha „elektron“ so'zidan olingan bo'lib, „kahrabo“ (ebonit) demakdir. Keyinchalik, ishqalanish natijasida yengil jismlarni o'ziga tortadigan bo'lib qolgan jismlarni elektrlangan jismlar yoki elektr zaryadi bilan zaryadlangan jismlar deb yuritiladigan bo'ldi.



1- rasm.

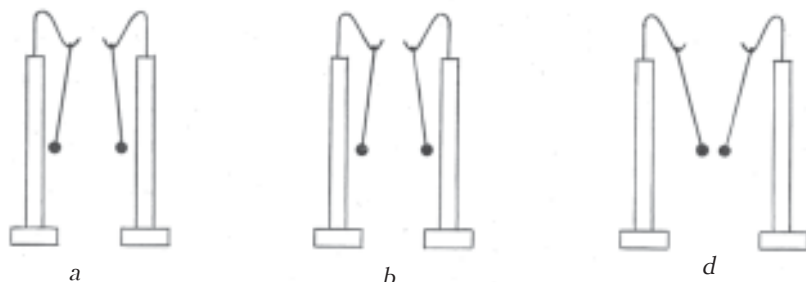
Yuqorida keltirilgan tajribalardan ko'rinadiki, barcha elektrlangan jismlar boshqa yengil jismlar



2- rasm.

larni o'ziga tortar ekan. Endi shoyiga ishqalangan shisha tayoqchada hosil bo'lgan elektr zaryadi bilan mo'ynaga ishqalangan ebonit tayoqchada hosil bo'lgan elektr zaryadlari bir-biridan farq qiladimi yoki yo'qmi, degan savol tug'iladi. Bu savolga javob berish uchun quyidagi tajribalarga murojaat qilamiz. Ipak ipga osilgan zar qog'ozdan yasalgan sharchaga zaryadlangan shisha tayoqchani tekkizsak (2- a rasm), sharcha zaryadlanadi. Endi zaryadlangan shisha tayoqchani zaryadlangan sharchaga qayta yaqinlashtirsak, u tayoqchadan itariladi (2- b rasm). Agar zaryadlangan bu sharchaga zaryadlangan ebonit tayoqchani yaqinlashtirsak, sharcha tayoqchaga tortiladi (2- d rasm). Demak, *jismlar zaryadlanganda ular orasida o'zaro ta'sir mavjud bo'lar ekan.*

Nima sababdan shunday bo'lishini aniqlash uchun quyidagi tajribalarni o'tkazamiz. Ipak iplarga osilgan ikkita sharchani zaryadlangan shisha tayoqchani tekkizish orqali zaryadlaylik. Shundan keyin zaryadlangan sharchalarni o'zaro yaqinlashtirsak, ular bir-biridan qochadi (3- a rasm). Shu kabi sharchalarni zaryadlangan ebonit tayoqcha orqali zaryadlab, bir-biriga yaqinlashtirsak, bu holda ham sharchalar bir-biridan qochadi (3- b rasm). Agar sharchalardan birini zaryadlangan shisha tayoqcha bilan, ikkinchisini zaryadlangan ebonit tayoqcha bilan zaryadlab bir-biriga



3- rasm.

yaqinlashtirilsa, u holda sharchalarning bir-biriga tortilishini ko‘rish mumkin (3- d rasm). Bundan ko‘rinadiki, *shisha va ebonit tayoqchalarda hosil bo‘lgan zaryadlarning tabiati turlicha* bo‘lar ekan. Demak, tajribalar tabiatda ikki tur elektr zaryadlari mavjud bo‘lib, *bir xil ishorali elektr zaryadlari bilan zaryadlangan jismlar o‘zaro itarilishini, turli ishorali elektr zaryadlari bilan zaryadlangan jismlar esa o‘zaro tortilishini ko‘rsatadi.*

Shartli ravishda shoyiga ishqalangan shishada hosil bo‘lgan elektr zaryadlarini musbat (+) ishorali zaryad deb, mo‘ynaga ishqalangan kahraboda hosil bo‘lgan elektr zaryadlarini manfiy (-) ishorali zaryad deb qabul qilingan. „Musbat zaryad“ va „manfiy zaryad“ tushunchalarini hamda ularni mos ravishda „+“ va „-“ ishoralar bilan belgilashni amerikalik fizik B. Franklin 1750- yilda birinchi marta o‘zining elektr hodisalar haqidagi „unitar nazariya“sida kiritgan. Tabiatda mavjud bo‘lgan barcha jismlarda har doim o‘zaro teng miqdorda musbat va manfiy zaryadlar bo‘lib, jismlar, odatda, elektr jihatdan neytral holatda bo‘ladilar. Hozirgi vaqtda biz bilamizki, hamma jismlar atom yoki molekulalardan tashkil topgan. Atom esa musbat zaryadli yadrodan va manfiy zaryadli elektronlardan tarkib topgan neytral sistemadir. Agar atom tarkibidagi elektron biror usul bilan tashqaridan qo‘shimcha energiya ola olsa, u holda elektron yadro bilan bog‘lanishni uzib, o‘z atomini tark etishi va jism ichida o‘zini erkin zarradek tutishi, hatto jismdan tashqariga chiqib ketishi ham mumkin. Masalan, jismlar bir-biriga ishqalanganda (bunda ishqalashning mexanik energiyasi jismlarning ichki energiyasiga aylanadi, binobarin, elektronlar qo‘shimcha energiyaga ega bo‘ladi) bunday elektronlarning biror qismi bir jismdan ikkinchi jismga o‘tishi mumkin. Demak, ishqalanish natijasida biridan ikkinchisiga elektronlar o‘tishi hisobiga birinchi jism musbat, ikkinchi jism esa manfiy zaryadlanadi. Agar bir jismdan ikkinchi jismga o‘tgan elektronlarning soni n ta bo‘lsa, u holda jismlarning har birining zaryadi $q = ne$ bo‘ladi, bu yerda e – elektron zaryadi, uning qiymati $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C.

Umuman, jismlarni uch xil usul bilan zaryadlash mumkin. *Birinchi:* jismlarni bir-biriga ishqalash yo‘li bilan zaryadlash. Bu holni yuqorida ko‘rib o‘tdik. *Ikkinchi:* elektr o‘tkazuvchanlikdan foydalanib zaryadlash. Bunda zaryadlangan jismni zaryadlanishi lozim bo‘lgan jismga bevosita tekkiziladi (kontaktga keltiriladi). Bunda elektr o‘tkazuvchanlik tufayli zaryadli zarra (elektron)larning zaryadlangan jismdan zaryadlanmagan jismga o‘tishi natijasida keyingi jism zaryadlanib qoladi. Elektrofor mashina yordamida jismlarni

zaryadlash bunga misol bo'la oladi. *Uchinchi*: ta'sir orqali zaryadlash yoki elektrostatik induksiya usuli. Zaryadlashning bu usuli bilan keyinroq tanishamiz (13- § ga qarang).

Shunday qilib, yuqorida ko'rib o'tilgan tajribalarda shoyiga ishqalangan shisha tayoqchadan elektronlar shoyiga o'tishi tufayli shisha tayoqcha musbat, shoyi esa manfiy zaryadlanib qoladi; jun matoga ishqalangan ebonit tayoqchaga jun matodan elektronlar o'tishi tufayli ebonit tayoqcha manfiy, jun mato esa musbat zaryadlanib qoladi, degan xulosaga kelamiz. Umuman olganda, bir-biriga ishqalangan ikki jismdan qaysi biri elektronlarini bersa, musbat, ortiqcha elektronlarni qabul qilib olsa, manfiy zaryadlanib qoladi.

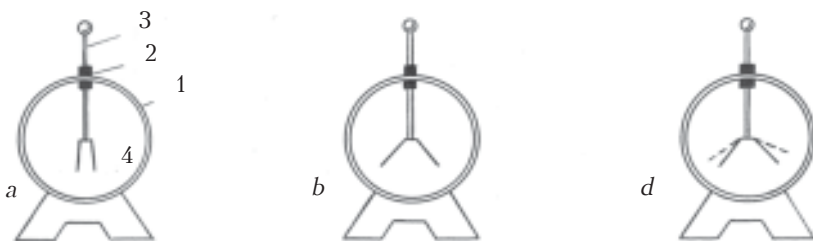
Olingan jismlardagi qarama-qarshi ishorali zaryadlar miqdori teng bo'lib, ular yo'qolmaydi. Bu bir jismda bir xil ishorali zaryaddan qancha miqdorda kamaysa, ikkinchi jismda o'shanday ishorali zaryaddan shuncha miqdorda ortadi, degan ma'noni anglatadi. Demak, jismlarda zaryadning umumiy miqdori o'zgarmaydi. Bu zaryadning saqlanish qonuni deb ataladi. Ushbu qonun tashqaridan zaryadli zarralar kirmaydigan va tashqariga bunday zarralar chiqmaydigan jismlar to'plami, ya'ni sistema uchun to'g'ridir. Bunday sistema yopiq sistema deb ataladi.

Yopiq sistemada barcha zarralar zaryadlarining algebraik yig'indisi o'zgarmasdir :

$$q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_N = \text{const.}$$

Zaryadlangan jismlarning bir-biridan itarilishida yoki tortilishida namoyon bo'ladigan elektr zaryadlarining o'zaro ta'sir kuchi elektr kuchlari deyiladi. *Elektr kuchlari elektr zaryadlari tomonidan yuzaga keladi.*

Jismlarning zaryadlanganligini aniqlashga imkon beruvchi asbob elektroskop deb ataladi. Elektroskopning ishlashi zaryadlangan jismlarning o'zaro ta'siriga asoslangan.



4- rasm.

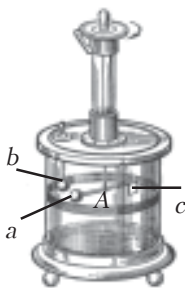
4- a rasmda elektroskop keltirilgan bo‘lib, uning tuzilishi quyidagicha: metall gardish (1) ga o‘rnatilgan plastmassa tiqin (2) orqali metall tayoqcha (3) o‘tkazilgan bo‘lib, tayoqchanning uchiga ikkita zar qog‘oz — yaproqchalar (4) yopishtirilgan, gardishning ikkala tomoni oyna bilan berkitilgan. Elektroskop qancha ko‘p zaryad bilan zaryadlansa, uning yaproqchalarining bir-birini itarish kuchi shuncha katta bo‘lib, ular shuncha kattaroq burchakka ochiladi. Demak, elektroskop yaproqchalari orasidagi burchakning kattaligiga qarab, uning zaryadi oshganligi yoki kamayganligi haqida fikr yuritish mumkin.

Agar zaryadlangan elektroskopga xuddi shunday ishorali elektr bilan zaryadlangan boshqa jism yaqinlashtirilsa, elektroskop yaproqchalari bir-biridan yanada uzoqlashadi (4- b rasm). Elektroskopga qarama-qarshi ishorali elektr bilan zaryadlangan jism yaqinlashtirilsa (4- d rasm), uning yaproqchalari orasidagi burchak kamayadi.

Elektroskopni birinchi marta rus olimi G.V. Rixman ixtiro etgan va ishlatgan.

2- §. Kulon qonuni. Elektr miqdori birliklari

Tinch holatdagi elektr zaryadlarining xossalari o‘rganuvchi elektr bo‘limi *elektrostatika* deb ataladi. *Zaryadlarning o‘zaro ta‘sir kuchi haqidagi qonun elektrostatikaning asosiy qonuni hisoblanadi.* Tajribalarning ko‘rsatishicha, zaryadlarning o‘zaro ta‘sir kuchi zaryadlar orasidagi masofaga, zaryadlar miqdoriga, shuningdek, zaryadlangan jismlarning shakliga va o‘lchamlariga bog‘liq ekan. Zaryadlangan jismlarning o‘zaro ta‘sir qonunini aniqlashda nuqtaviy zaryad deb ataluvchi zaryadlangan jismlardan foydalaniladi. *O‘lchamlari ular orasidagi masofaga nisbatan kichik bo‘lgan zaryadlangan jismlar nuqtaviy zaryadlar* deb ataladi.



5- rasm.

Ikkita nuqtaviy zaryadning o‘zaro ta‘sir qonunini 1785- yilda fransuz fizigi Sh.Kulon tajribada aniqladi, shuning uchun bu qonun *Kulon qonuni* deb ataladi. Bu qonunni Kulon buralma tarozi yordamida o‘tkazgan o‘lchashlari asosida ochgan. Buralma tarozining tuzilishi (5- rasm) quyidagicha: katta silindrik shisha idish ichida ingichka elastik simga A shisha shayin osilgan. Shayinning bir uchiga a metall sharcha, ikkinchi uchiga c posangi mahkamlangan. Metall sterjenga

mahkamlangan yana bir b metall sharcha tarozining qopqog'iga qimirlamaydigan qilib o'rnatilgan. Metall sharchalarga tashqaridan elektr zaryadlari berish mumkin.

Buralma tarozi zaryadlangan sharchalar orasidagi o'zaro ta'sir kuchining zaryadlar kattaligiga va ular orasidagi masofaga bog'liqligini o'rganishga imkon beradi. Kulon sharchalardan birining zaryadini 2, 4 va hokazo karrali marta o'zgartirishning oddiy usulini topdi, buning uchun u zaryadlangan sharchani zaryadlanmagan xuddi shunday boshqa sharchaga uladi. Bunda zaryad sharchalarda teng taqsimlanib, natijada tekshirilayotgan zaryad kattaligi 2 marta kamaygan va kuchning bu zaryadga mos yangi qiymati tajribada topilgan. Shu kabi zaryadlar orasidagi masofani o'zgartirilganda ham unga bog'liq holda ta'sir etuvchi kuchning qiymati o'zgargan.

Shunday qilib, tajribalar asosida topilgan Kulon qonuni quyidagicha ta'riflanadi: *vakuumdagi joylashgan qo'zg'almas ikkita nuqtaviy zaryadning o'zaro ta'sir kuchi (F) zaryad miqdorining ko'paytmasiga ($q_1 \cdot q_2$) to'g'ri, ular orasidagi masofa (r) ning kvadratiga teskari proporsional bo'lib, zaryadlar yotgan to'g'ri chiziq bo'yicha yo'nalgan bo'ladi:*

$$F = k \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}, \quad (1)$$

bunda k — formulaga kiruvchi kattaliklarning qanday birliklar sistemasida olinishiga bog'liq bo'lgan proporsionallik koeffitsiyenti.

(1) formulaga kiruvchi kattaliklarning birliklari SI da olinsa,

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \quad (2)$$

bo'ladi. Bunda ϵ_0 — elektr doimiysi deb ataladigan va o'lchamga ega fundamental fizik kattalik bo'lib, uni vakuumning absolut dielektrik singdiruvchanligi deb ham yuritiladi. ϵ_0 ning kattaligi quyidagiga teng:

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{N} \cdot \text{m}^2}.$$

Tajribalarning ko'rsatishicha, zaryad miqdori va zaryadlar orasidagi masofa o'zgarmagan holda ikkita nuqtaviy zaryadning vakuumdagi o'zaro ta'sir kuchi F_v shu zaryadlarning biror muhitdagi o'zaro ta'sir kuchi F_m ga teng bo'lmas ekan.

Qo'zg'almas nuqtaviy zaryadlarning vakuumdagi o'zaro ta'sir kuchlarining biror muhitdagi o'zaro ta'sir kuchlariga nisbati shu

muhitning nisbiy dielektrik singdiruvchanligi yoki kirituvchanligi deyiladi. Nisbiy dielektrik singdiruvchanlik ϵ (epsilon) harfi bilan belgilanadi va ta'rifga ko'ra, quyidagicha ifodalanadi:

$$\epsilon = \frac{F_v}{F_m}. \quad (3)$$

(3) formuladan ko'rinadiki, ϵ o'lchamsiz kattalik. Dielektrik singdiruvchanlik muhitning elektr xossalari xarakterlaydigan kattalik bo'lib, uning fizik mohiyati haqida keyinroq to'xtalamiz (14- § ga qarang).

Ba'zi moddalarning nisbiy dielektrik singdiruvchanligi quyidagicha: kerosin uchun $\epsilon = 2$, toza suv uchun $\epsilon = 81$, parafin uchun $\epsilon = 2,2$, sluda uchun $\epsilon = 6 \div 8$, shisha uchun $\epsilon = 6 \div 10$, havo uchun $\epsilon = 1,0006$. (3) formuladan vakuum uchun $\epsilon = 1$ ekanligi ravshan ko'rinib turibdi.

Agar k proporsionallik koeffitsiyentining (2) ifodasini hisobga olsak, u holda SI da Kulon qonuni vakuum uchun

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

va muhit uchun

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

ko'rinishga ega bo'ladi.

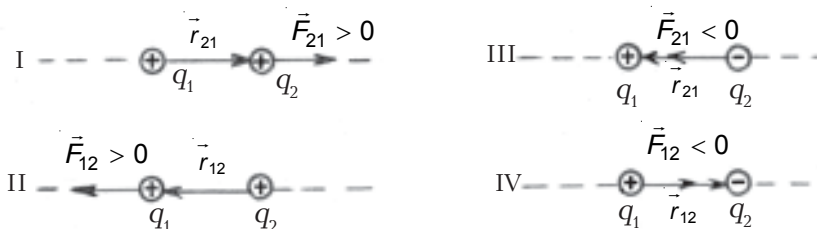
Zaryadlarning o'zaro ta'sir kuchlari teng va zaryadlar orqali o'tuvchi to'g'ri chiziq bo'yicha qarama-qarshi tomonga yo'nalgan bo'lib, bir xil ishorali zaryadlar uchun itarishish (musbat) kuch, turli ishorali zaryadlar uchun tortishish (manfiy) kuch xarakteriga ega.

Kuch vektor kattalik ekanligini nazarda tutib, Kulon qonunini vektor ko'rinishda quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^3} \cdot \vec{r}, \quad (5)$$

bu yerda \vec{r} – zaryadlar orqali o'tuvchi to'g'ri chiziq bo'yicha yo'nalgan birlik vektor.

6- rasmda \vec{F}_{21} bilan q_1 zaryad tomonidan q_2 zaryadga ta'sir etuvchi kuch, \vec{F}_{12} bilan q_2 zaryad tomonidan q_1 zaryadga ta'sir etuvchi kuch ifodalangan. Bunda \vec{r}_{21} va \vec{r}_{12} lar q_1 va q_2 zaryadlarni birlashtiruvchi radius-vektorlar.



6- rasm.

SI da zaryad birligi qilib, $q = It$ formulaga asosan, bir amper tok o'tayotgan o'tkazgichning ko'ndalang kesimidan bir sekunda o'tadigan zaryad miqdori qabul qilingan. Zaryadning bu birligi Kulon sharafiga k u l o n (C) deb ataladi va u hosilaviy birlik hisoblanadi:

$$1C = 1A \cdot 1s = 1A \cdot s$$



Takrorlash uchun savollar

1. Nima uchun tabiatda faqat ikki xil elektr zaryadlari mavjud va ular o'zaro qanday ta'sirlashadi? 2. Jismlar bir-biriga ishqalanganda ularning zaryadlanib qolishi qanday tushuntiriladi? 3. Elektr zaryadining saqlanish qonuni qanday ta'riflanadi? Formulasini yozing. 4. Elektroskop qanday tuzilgan? U nima maqsadda ishlatiladi? 5. Elektroskop yordamida qanday tajribalar o'tkazish mumkin? 6. Buralma tarozining tuzilishini tushuntiring. 7. Nuqtaviy elektr zaryadi deb nimaga aytiladi? 8. Kulon tajribasini tushuntiring. Kulon qonunini ta'riflang. 9. ϵ_0 qanday kattalik? ϵ - chi? 10. SI da elektr zaryadi birligi nima? Ta'rifini bering.



MASALA YECHISH NAMUNALARI

1- masala. Agar zaryadlar orasidagi masofa 2 marta o'zgarsa, ular orasidagi o'zaro ta'sir kuchi qanday o'zgaradi?

Yechilishi. Kulon qonuniga asosan $F \propto \frac{1}{r^2}$ bo'lgani uchun zaryadlar orasidagi masofa ikki marta kamaysa, ular orasidagi o'zaro ta'sir kuchi 4 marta ortadi, masofa 2 marta ortsa, kuch 4 marta kamayadi.

2- masala. Bir xil kattalikdagi ikkita musbat zaryad suvda bir-biridan 3 sm masofada joylashgan bo'lib, $1,6 \cdot 10^{-4}$ N kuch bilan itarishadi. Har bir zaryadning miqdori topilsin.

Berilgan:

$$r = 3 \text{ sm} = 3 \cdot 10^{-2} \text{ m}; F = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ N}; \epsilon = 81; \epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{N} \cdot \text{m}^2}.$$

$$q_1 = q_2 = q - ?$$

Yechilishi. Kulon qonuni $F = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2}$ dan zaryad kattaligi q ni topamiz:

$$q^2 = 4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2 \cdot F \quad \text{yoki} \quad q = 2r\sqrt{\pi\epsilon_0\epsilon F}.$$

Hisoblash:

$$\begin{aligned} q &= 2 \cdot 3 \cdot 10^{-2} \text{ m} \cdot \sqrt{3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{N} \cdot \text{m}^2} \cdot 81 \cdot 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ N}} = \\ &= 3,6 \cdot 10^{-9} \text{ C}. \end{aligned}$$

3- masala. Tomonlari 20 sm dan bo'lgan teng tomonli uchburchakning uchlariga havoda $q_1 = q_2 = q_3 = 3,2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ zaryadlar joylashtirilgan. Zaryadlarning biriga qolgan ikkitasining ta'sir kuchini toping.

Berilgan: $AB = BC = CA = r = 20 \text{ sm} = 0,2 \text{ m}$, $\epsilon = 1$,

$$q_1 = q_2 = q_3 = q = 3,2 \cdot 10^{-6} \text{ C}.$$

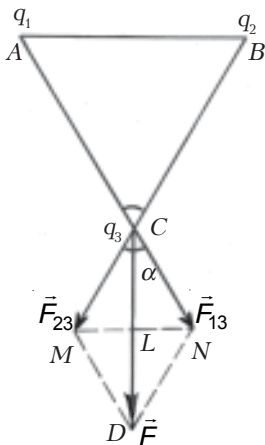
$F = ?$

Yechilishi. Masalani yechish uchun uning chizmasini chizib olamiz (6- a rasm). Birinchi va ikkinchi zaryadlarning uchinchi zaryadga ta'sir kuchlari miqdor jihatdan teng va Kulon qonuniga asosan

$$F_{13} = F_{23} = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad (\text{a})$$

bo'ladi.

q_1 va q_2 zaryadlarning q_3 zaryadga ta'sir etuvchi F kuchining kattaligi F_{13} va F_{23} kuchlar ustiga chizilgan parallelogramning diagonali CD ga teng, ya'ni



6- a rasm.

$$F = CD = 2CL. \quad (\text{b})$$

$$\Delta CLN \text{ dan } CL = F_{13} \cos \alpha. \quad (\text{d})$$

Bu yerda $\alpha = 30^\circ$, chunki

$$\alpha = \frac{\angle MCN}{2}, \quad (\text{e})$$

$$\angle MCN = \angle ACB = 60^\circ, \quad (\text{f})$$

$\angle ACB$ – teng tomonli uchburchakning burchaklaridan biri. (d), (e) va (a) ga asosan (b) quyidagicha bo'ladi:

$$F = \frac{2 \cdot q^2 \cdot \cos 30^\circ}{4\pi\epsilon_0 r^2}.$$

$$\text{Hisoblash: } F = \frac{2 \cdot (3,2 \cdot 10^{-6} \text{ C})^2 \cdot 0,866}{4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{N} \cdot \text{m}^2} \cdot 0,04 \text{ m}^2} \approx 4,0 \text{ N}.$$

Demak, birinchi va ikkinchi zaryad uchinchi zaryadga 4,0 N kuch bilan ta'sir qiladi. Xuddi shuningdek, ikkinchi va uchinchi zaryad birinchi zaryadga, birinchi va uchinchi zaryad ikkinchi zaryadga 4,0 N kuch bilan ta'sir etishini ko'rsatish mumkin. Bu ishni mustaqil bajarishni o'quvchilarga tavsiya etamiz.

4- masala. Radiusi $5 \cdot 10^{-9} \text{ m}$ bo'lgan vodorod atomining orbitasida harakatlanayotgan elektronning chiziqi tezligini toping.

$$\text{Berilgan: } r = 5 \cdot 10^{-9} \text{ m}; \quad |q_e| = |q_p| = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C};$$

$$\frac{\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{N} \cdot \text{m}^2}; \quad m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg.}}{v - ?}$$

Yechilishi. Elektronni yadroga (protonga) tortuvchi Kulon kuchi

$F_k = \frac{q_e \cdot q_p}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$, bunda q_e – elektronning zaryadi, q_p – protonning zaryadi, ular miqdor jihatdan bir-biriga teng bo'lib, ishoralari bilan farq qiladi.

Kulon kuchi ta'sirida elektron aylana bo'ylab harakatlanadi va unga

$F_{m.i.} = \frac{m_e v^2}{r}$ markazga intilma kuch ta'sir etadi. Elektron yadro atrofida

tekis aylanma harakat qilganligi uchun $F_k = F_{m.i.}$ bo'lib, $\frac{q_e^2}{4\pi\varepsilon_0 r^2} = \frac{m_e v^2}{r}$ tenglamadan v ni topamiz:

$$v = \frac{q_e}{2\sqrt{\pi\varepsilon_0 r m_e}}.$$

Hisoblash:

$$v = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}}{2\sqrt{3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{N} \cdot \text{m}^2} \cdot 5 \cdot 10^{-9} \text{ m} \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}}} \approx 2 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$



MUSTAQIL YECHISH UCHUN MASALALAR

1. Ikkita zaryadlangan jism o'zaro F kuch bilan ta'sirlashadi. Shu jismlardan birining zaryadini 2 marta, ikkinchisining 3 marta orttirsak, ular orasidagi masofa o'zgarmagan holda o'zaro ta'sir kuchi nimaga teng bo'ladi?

2. Zaryadlar vakuumda bir-biriga F kuch bilan ta'sir qiladi. Suvda ularning o'zaro ta'sir kuchi nimaga teng bo'ladi?

3. Har biri $0,33 \cdot 10^{-7} \text{C}$ bo'lgan ikki zaryad sluda ($\epsilon=8$) orqali $5 \cdot 10^{-2} \text{N}$ kuch bilan o'zaro ta'sirlashmoqda. Sluda qatlamining qalinligi topilsin.

4. Har biri 1C dan zaryad miqdoriga ega bo'lgan ikki jism havoda bir-biridan 1km masofada qanday kuch bilan o'zaro ta'sirlashadi?

5. Havoda bir-biridan 1mm masofada turgan manfiy zaryadlangan ikkita chang zarrasi $4 \cdot 10^{-5} \text{N}$ kuch bilan itarishadi. Har bir chang zarrasidagi ortiqcha elektronlar sonini toping.

6. Zaryadlari $1 \cdot 10^{-6} \text{C}$ va $-0,32 \cdot 10^{-6} \text{C}$ bo'lgan ikkita bir xil kichik shar bir-biriga tekkizilib, so'ngra ular bir-biridan 20sm masofaga qo'yilgandan keyingi o'zaro ta'sir kuchini toping.

7. Ikkita bir xil sharcha uzunligi 1m bo'lgan iplarga bir nuqtada osib qo'yilgan. Sharchalarning har biriga $4 \cdot 10^{-9} \text{C}$ zaryad berilganda ular bir-biridan 16sm uzoqlashgan. Har qaysi ipning tarangligini aniqlang.

3- §. Elektr maydon. Elektr maydon kuchlanganligi

Yuqorida ko'rib o'tilganidek, zaryadlangan jismlarning o'zaro ta'siridan ko'rinadiki, zaryadlangan jismlar bir-biriga tegmasdan, biror masofada bo'lganda ham o'zaro ta'sirlashar ekan. Bu ta'sir hamma vaqt biror maxsus moddiy borliq, ya'ni materiya orqali uzatiladi. Mana shu materiyaning maxsus ko'rinishi elektr maydon deb ataladi. Binobarin, elektr maydon modda bo'lmasdan, balki materiyaning maydon ko'rinishidir.

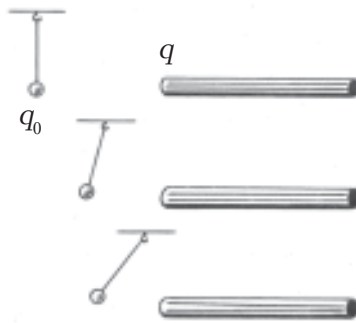
Har bir zaryadlangan jism atrofida elektr maydon hosil bo'lib, zaryadlangan jismlar ana shu elektr maydon orqali o'zaro ta'sirlashadi. Demak, elektr maydonning eng asosiy xususiyati — uning elektr zaryadiga ma'lum kuch bilan ta'sir etish qobiliyatidir. Agar elektr maydon vaqt o'tishi bilan o'zgarmasa, uni elektrostatik maydon deb ataladi.

Zaryadlangan jismning elektr maydoni cheksizlikkacha davom etadi. Ammo elektr kuchlari masofa ortishi bilan tez kamayadi

$\left(F \propto \frac{1}{r^2} \right)$, shuning uchun zaryadlangan jism elektr maydonining ta'sirini amalda shu zaryaddan uncha uzoq bo'lmagan masofalardagina payqash mumkin.

Elektr maydon elektr maydon kuchlanganligi va elektr maydon potentsiali deb nomlanadigan fizik kattaliklar bilan xarakterlanadi. Kuchlanganlik elektr maydonning kuch xarakteristikasi, potensial esa uning energetik xarakteristikasi hisoblanadi.

Zaryadlangan jism elektr maydonini shu maydonga kiritilgan zaryad yordamida o'rganish mumkin. Bundan keyin biz elektr maydonni o'rganishda xizmat qiladigan zaryadni sinash zaryadi (q_0) deb ataymiz. Uni shunday kichik zaryad deb qaraymizki, u aniqlanayotgan maydonga sezilarli ta'sir ko'rsatmasin, ya'ni sinash zaryadining xususiy maydoni tekshirilayotgan maydonga nisbatan juda kichik bo'lishi kerak.



7- rasm.

Endi elektr maydonini xarakterlaydigan asosiy fizik kattaliklardan biri bo'lgan elektr maydon kuchlanganligi bilan tanishib chiqamiz. Quyidagi tajribada (7- rasm) elektr maydoni tekshirilayotgan zaryadlangan tayoqchanning elektr zaryadini q , tayoqcha bilan bir xil ishorali zaryad bilan zaryadlangan ipak ipga osilgan sharchaning zaryadini esa q_0 deb hisoblaymiz.

Sharchani tayoqchadan har xil oraliqlarga qo'ysak, uning muvozanat holatdan og'ishi har xil bo'ladi, ya'ni sharcha tayoqchadan uzoqroqda bo'lganda muvozanat holatdan kamroq, tayoqchaga yaqinroq masofalarda ko'proq og'adi. Bundan, zaryadlangan jismga yaqin joylarda elektr maydon kuchli, undan uzoqlashgan sari esa kuchsizlana boshlaydi, degan xulosa kelib chiqadi.

Agar maydonning ayni bir nuqtasiga sharchani har xil elektr miqdori bilan zaryadlab qo'ysak, zaryad miqdori ortishi bilan sharchaga ta'sir etuvchi kuch ham ortadi. Sinash zaryadining miqdorini 2,3, s marta orttirsak, unga ta'sir etuvchi kuch ham 2, 3 va hokazo marta ortadi. Bundan ko'rinadiki, sinash zaryadining miqdori har qancha o'zgartirilmasin, maydonning biror nuqtasida sinash zaryadiga ta'sir etadigan kuchning sinash zaryadi kattaligiga nisbati o'zgarmas bo'lib, sinash zaryadining miqdoriga bog'liq bo'lmaydi. *Musbat birlik zaryadga maydon tomonidan ta'sir etuvchi kuchning son qiymatiga teng bo'lgan kattalik maydonning zaryad kiritilgan nuqtasidagi maydon kuchlanganligi* deyiladi. Maydon kuchlanganligi ta'sir etuvchi kuch yo'nalishida yo'nalgan bo'ladi, ya'ni u vektor kattaligidir. Ta'rifga binoan,

$$E = \frac{F}{q_0} \quad \text{va} \quad \vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}. \quad (6)$$

SI da $[F] = 1\text{N}$, $[q_0] = 1\text{C}$, u holda (6) ga asosan

$$[E] = \frac{[F]}{[q_0]} = \frac{1\text{N}}{1\text{C}} = 1 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

bo'ladi, ya'ni SI da *kuchlanganlik birligi qilib elektr maydonga kiritilgan 1 C zaryadga 1 N kuch bilan ta'sir qiluvchi maydon kuchlanganligi* qabul qilingan. Amalda maydon kuchlanganligi birligi sifatida $1 \frac{\text{V}}{\text{m}}$ ishlatiladi (10- § ga qarang).

Agar elektr maydonni q nuqtaviy zaryad hosil qilayotgan bo'lsa, undan r masofadagi maydon kuchlanganligi (6) formulaga asosan,

$$F = \frac{q \cdot q_0}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2}$$

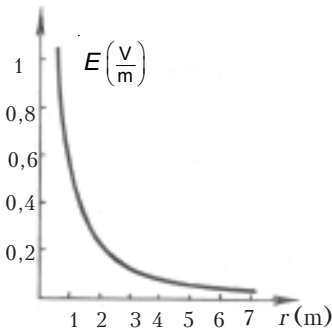
ekanligini hisobga olganda

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2} \quad \text{yoki} \quad \vec{E} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^3} \vec{r} \quad (7)$$

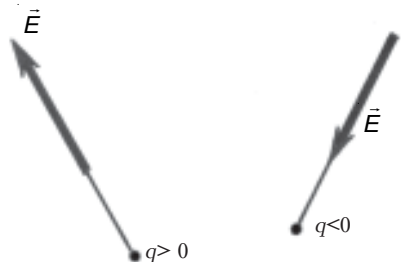
ko'rinishda ifodalanadi.

Shunday qilib, *nuqtaviy zaryad maydonining ixtiyoriy r masofadagi kuchlanganligi shu zaryad kattaligiga to'g'ri proporsional va muhitning dielektrik singdiruvchanligi bilan zaryaddan maydon qaralayotgan nuqttagacha bo'lgan masofaning kvadratiga teskari proporsional bo'ladi.* Bu ta'rifdan ko'rinadiki, nuqtaviy zaryaddan uzoqlashgan sari elektr maydon kuchlanganligi keskin kamayadi. Misol tariqasida havoda zaryadi $q = 10^{-10}\text{C}$ bo'lgan nuqtaviy zaryad maydon kuchlanganligining masofaga bog'liqlik grafigi 8-rasmda keltirilgan.

Agar musbat nuqtaviy zaryad ma'lum radiusli sferik sirt bilan o'ralgan deb qaralsa, uning elektr maydon kuchlanganlik vektori



8- rasm.



9- rasm.

zaryaddan radius-vektor bo‘ylab chiqadi, agar zaryad manfiy bo‘lsa, kuchlanganlik vektori zaryadga radius-vektor bo‘ylab kiradi (9- rasm) deb shartlashib olingan.

Bir qancha zaryadlarning biror nuqtadagi natijaviy maydon kuchlanganligi har bir zaryadning shu nuqtadagi maydon kuchlanganliklarining geometrik yig‘indisiga teng, ya’ni:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_k \quad (8)$$

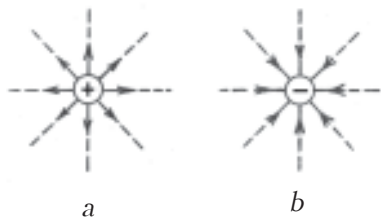
bo‘ladi. Bu xossa maydonlarning *superpozitsiya* (ustma-ust tushib qo‘shilish) *prinsipi* deb ataladi.

4- §. Elektr kuch chiziqlari

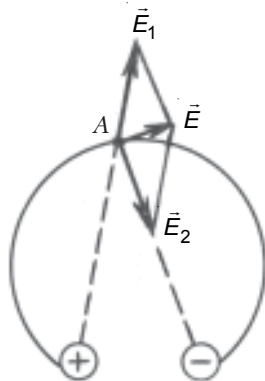
Elektr maydonni grafik ko‘rinishda tasvirlash uchun elektr kuch chiziqlari tushunchasidan foydalaniladi.

Elektr kuch chizig‘i deb shunday chiziqqa aytiladiki, uning har bir nuqtasiga o‘tkazilgan urinma shu nuqtadagi maydon kuchlanganligining yo‘nalishi bilan mos tushadi. Agar kuch chizig‘i to‘g‘ri chiziqdan iborat bo‘lsa, u kuchlanganlik vektori bilan ustma-ust tushadi. Masalani tushunish oson bo‘lishi uchun elektr kuch chiziqlari musbat zaryaddan boshlanib manfiy zaryadda tugaydi yoki cheksizlikka ketadi deb qabul qilingan. 10- a va b rasmda turli ishorali nuqtaviy zaryadlar hosil qilgan maydonlarning kuch chiziqlari ko‘rsatilgan.

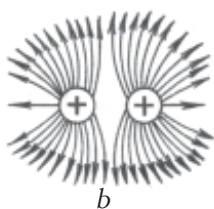
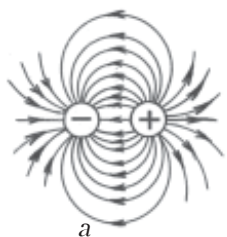
Umuman olganda, kuch chiziqlari to‘g‘ri chizikli bo‘lmaydi. Bunga ishonch hosil qilish uchun miqdor jihatidan bir xil bo‘lgan ikkita nuqtaviy zaryad hosil qilgan maydonni qarab chiqaylik (11- rasm). Har bir nuqtadagi umumiy maydon kuchlanganligi, A



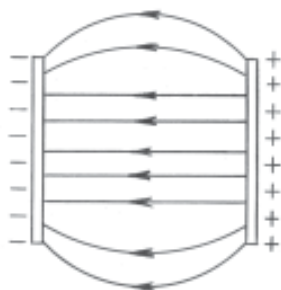
10- rasm.



11- rasm.



12- rasm.



13- rasm.

nuqta uchun ko'rsatilganidek, parallelogramm qoidasi bo'yicha aniqlanadi. Agar A nuqtadan avvalgi o'tkazilgan egri chiziq bilan ustma-ust tashmaydigan boshqa ixtiyoriy egri chiziq o'tkazilsa, endi bu egri chiziqning A nuqtasidagi kuchlanganlik vektori unga urinma bo'lmaydi. Chunki maydonning har bir nuqtasidan faqat bitta kuch chizig'i o'tkazish mumkin, ya'ni kuch chiziqlari hech qayerda bir-biri bilan kesishmaydi.

Maydonni kuch chiziqlari orqali grafik tasvirlashning qulayligi faqat maydonning har bir nuqtasida elektr kuch chiziqlari (maydon kuchlanganligi) yo'nalishini ko'rgazmali tasvirlashdan iborat bo'lmay, balki chizmada kuch chiziqlarining zichligi orqali maydon kuchlanganligini baholash ham mumkinligidadir. Chizmada kuch chiziqlari qayerda zich joylashgan bo'lsa, o'sha joylarda maydon kuchlanganligi katta va, aksincha, qayerda siyrak joylashgan bo'lsa, o'sha joylarda kuchlanganlik kichik bo'ladi. Masalan, nuqtaviy zaryad maydonini tasvirlaganda zaryad miqdori qancha katta bo'lsa, kuch chiziqlarini shuncha zichroq chizish kerak. Shu bilan birga, kuch chiziqlariga tik joylashgan biror sirtning yuz birligi orqali o'tuvchi kuch chiziqlari soni qancha ko'p bo'lsa, maydon kuchlanganligi ham shuncha katta bo'ladi. 12- a va b rasmda ikkita — miqdor jihatidan teng, ishoralari har xil va xuddi shunday, lekin ishoralari bir xil bo'lgan nuqtaviy zaryadlar maydonining kuch chiziqlari manzarasi ko'rsatilgan.

Agar parallel joylashtirilgan ikkita bir xil o'lchamdagi metall plastinka ishoralari bilan farq qiluvchi bir xil miqdordagi zaryadlar bilan zaryadlansa, plastinkalar orasidagi hamma nuqtalarda maydon kuchlanganligi kattalik va yo'nalish jihatdan bir xil bo'ladi. *Kuchlanganlik vektori hamma nuqtalarda bir xil bo'lgan maydon bir jinsli maydon deb ataladi.* Bir jinsli maydonda elektr maydon kuch chiziqlari o'zaro parallel va ularning zichligi hamma joyda bir xil bo'ladi (13- rasm). Lekin plastinkalarning chetlarida maydonning bir jinsliliği buziladi.

5- §. Kuchlanganlik oqimi. Ostrogradskiy – Gauss teoremasi

Kuch chiziqlari tushunchasi elektr hodisalarini ko‘rgazmali va sodda qilib tushuntirishga imkon beradi.

Maydonning har bir nuqtasidan istalgan sondagi kuch chiziqlarini o‘tkazish mumkin. Kuch chiziqlari sonini hech bir narsa chegaralamaydi. Lekin kuch chiziqlarining sonini shu maydonni xarakterlovchi kuchlanganlik kattaligi bilan bog‘lash maqsadga muvofiq bo‘ladi. Kuch chiziqlarini shunday o‘tkazish kerakki, bunda kuch chiziqlariga perpendikular bo‘lgan sirtning har bir birlik yuzasi orqali o‘tuvchi chiziqlar soni maydon kuchlanganligining qiymatiga teng bo‘lsin. Masalan, biror bir jinsli maydonning kuch chiziqlariga perpendikular bo‘lgan ΔS yuza orqali o‘tuvchi chiziqlar soni ΔN bo‘lsin (14- rasm). U holda, yuqoridagi shartga ko‘ra, maydon kuchlanganligi uchun

$$E = \frac{\Delta N}{\Delta S} \quad (9)$$

munosabat bajariladi.

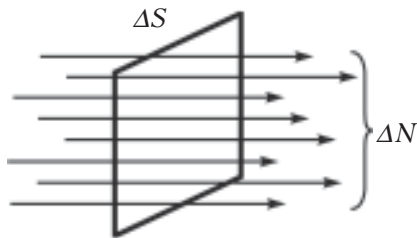
Kuch chiziqlari shu shartga muvofiq o‘tkazilganda kuchlanganlik kattaligi haqiqatan ham kuch chiziqlarining zichligi bilan bog‘langan bo‘ladi: maydonning kuchlanganlik oz bo‘lgan joylarida kuch chiziqlari siyrakroq, kuchlanganlik ko‘p bo‘lgan joylarida zichroq o‘tadi.

Elektr maydonda joylashgan biror sirtni kesib o‘tayotgan kuch chiziqlari soni maydonning shu sirt orqali o‘tayotgan kuchlanganlik oqimi deyiladi. Agar sirt kuch chiziqlariga perpendikular va maydon bir jinsli bo‘lib, uning kuchlanganligi E bo‘lsa, u holda kuchlanganlik oqimi

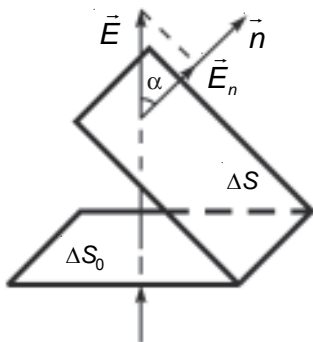
$$N = ES_0 \quad (10)$$

bo‘lishi ravshan, bu yerda S_0 – sirtning yuzi.

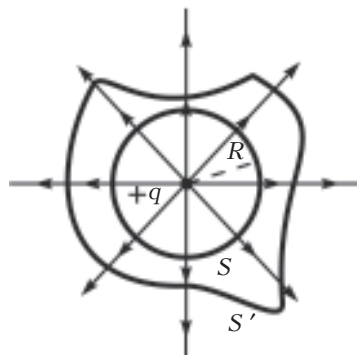
Agar sirt kuch chiziqlariga perpendikular bo‘lmay, ixtiyoriy ravishda joylashgan bo‘lib (15- rasm), maydon bir jinsli bo‘lmasa, ya‘ni maydon kuchlanganligi uning turli sohalarida



14- rasm.



15- rasm.



16- rasm.

turlicha bo'lsa, u holda maydonni fikran kichik sohalarga ajratish mumkin. Bu sohalarda kuchlanganlik juda oz o'zgaradi va maydonni bir jinsli deb hisoblash mumkin. Sirtning kichik sohalardagi elementar yuzasi ΔS bo'lsa, u holda bu elementar yuza orqali o'tuvchi elementar kuchlanganlik oqimi, ta'rifga ko'ra,

$$\Delta N = E \cdot \Delta S_0 = E \cdot \Delta S \cdot \cos \alpha$$

bo'ladi, bu yerda α — kuch chizig'i bilan ΔS yuzaga o'tkazilgan normal orasidagi burchak, ΔS_0 esa ΔS yuzaning kuch chiziqlariga perpendikular bo'lgan tekislikka proyeksiyasi (15- rasmga q.) $E \cdot \cos \alpha = E_n$ ekanligi ravshan, bunda E_n kattalik E kuchlanganlik vektorining ΔS sirtga o'tkazilgan \vec{n} normal yo'nalishidagi proyeksiyasi.

Shunday qilib, ixtiyoriy joylashgan ΔS elementar sirt orqali o'tuvchi ΔN elementar kuchlanganlik oqimi

$$\Delta N = E_n \Delta S \quad (11)$$

bo'ladi. Chekli S sirt orqali o'tuvchi N kuchlanganlik oqimi elementar oqimlarning algebraik yig'indisiga teng bo'ladi, ya'ni:

$$N = \sum_{i=1}^n \Delta N_i = \sum_{i=1}^n E_{ni} \Delta S_i. \quad (12)$$

Endi q nuqtaviy zaryadni o'rab turgan S sferik sirt orqali o'tuvchi kuchlanganlik oqimini aniqlaylik. Sferaning radiusi R bo'lsin (16- rasm). Nuqtaviy zaryadning maydon kuchlanganligi formulasi (7) ga ko'ra, butun sferada maydon kuchlanganligi bir xil bo'ladi. Kuch chiziqlari radial yo'nalgan va S sferaning sirtiga perpendikular. Shu sirtan o'tuvchi kuchlanganlik oqimi

$$N = ES = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R^2} \cdot 4\pi R^2 = \frac{q}{\epsilon_0} \quad (13)$$

ga teng bo'ladi, bu yerda $S = 4\pi R^2$ – sferaning yuzi.

Endi sferani ixtiyoriy shakldagi S' berk sirt bilan o'raymiz. 16- rasmdan ko'rinib turganidek, S sferik sirt orqali o'tuvchi har bir kuch chizig'i S' sirt orqali ham o'tadi. Shuning uchun (13) formula faqat sferik sirt uchungina emas, balki har qanday ixtiyoriy berk sirt uchun ham o'rinli bo'ladi.

Shunday qilib, *bitta nuqtaviy zaryadni o'rab turuvchi berk sirt orqali o'tuvchi kuchlanganlik oqimi o'ralib turgan zaryad miqdorining ϵ_0 ga nisbatiga teng bo'ladi.*

Bu qoidani istalgancha ko'p $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$ nuqtaviy zaryadlar uchun umumlashtirib, Ostrogradskiy va Gauss quyidagi teoremani aniqlashgan: *zaryadlarni o'z ichiga oluvchi har qanday berk sirt orqali o'tuvchi kuchlanganlik oqimi o'ralib olingan zaryadlarning algebraik yig'indisining ϵ_0 ga nisbatiga teng bo'ladi.*

Ostrogradskiy – Gauss teoremasining matematik ifodasi quyidagicha:

$$N = \frac{1}{\epsilon_0} \cdot \sum_{i=1}^n q_i. \quad (14)$$

Ostrogradskiy – Gauss teoremasi katta amaliy ahamiyatga ega.

6- §. Ostrogradskiy – Gauss teoremasining tatbiqi

Har qanday zaryadni cheksiz ko'p sonli nuqtaviy zaryadlarning yig'indisi sifatida tasavvur qilish mumkin. Shu sababli Ostrogradskiy – Gauss teoremasini har qanday shakldagi va o'lchamdagi zaryadlangan jismlarga tatbiq etish mumkin. Quyida bu teorema yordamida zaryadlangan turli shakldagi jismlar hosil qilgan elektr maydonlarning kuchlanganligi qanday aniqlanishini bir necha misolda ko'rib chiqamiz. Bunda berk sirt bilan chegaralangan hajmdan chiquvchi kuch chiziqlari kuchlanganlikning musbat oqimini, hajmga kiruvchi kuch chiziqlari esa manfiy oqimni vujudga keltiradi, deb shartlashib olamiz.

Bundan tashqari, zaryadlarning sirt zichligi tushunchasidan foydalanamiz. *Agar biror S sirt bo'ylab q zaryad*

miqdori tekis taqsimlangan bo'lsa, shu sirtning birlik yuzasiga to'g'ri keladigan zaryad miqdori bilan o'lchanadigan kattalik zaryadlarning sirt zichligi deb ataladi va σ (sigma) harfi bilan belgilanadi.

Demak, zaryadlarning sirt zichligi quyidagicha ifodalanadi:

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

SI da sirt zichligining birligi

$$[\sigma] = \frac{[q]}{[S]} = \frac{1C}{1m^2} = 1 \frac{C}{m^2}$$

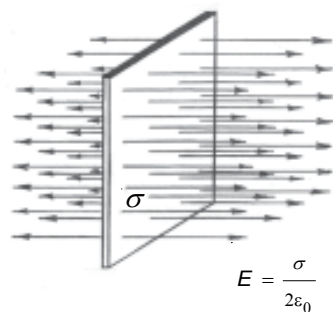
1. Tekis zaryadlangan cheksiz tekislikning maydon kuchlanganligi. Zaryadining sirt zichligi σ o'zgarmas bo'lgan cheksiz tekislik elektr maydon hosil qilayotgan bo'lsin (17- rasm).

Bu tekislikning har bir birlik yuzasidan $\frac{\sigma}{\epsilon_0}$ ta kuch chiziqlari chiqadi. Simmetriya nuqtayi nazaridan qaraganda, kuch chiziqlari tekislikka perpendikular va, shu bilan birga, tekislikning ikkala tomonidan birday zichlikda chiqadi. Bu degani, barcha kuch chiziqlarining yarmi cheksiz tekislikning chap sirtidan, qolgan ikkinchi yarmi esa o'ng sirtidan chiqishini bildiradi. Shuning uchun zaryadlangan cheksiz tekislikdan uning ikkala tomonida biror masofada kuch chiziqlariga perpendikular joylashgan sirtning har bir birlik yuzasidan o'tuvchi kuchlanganlik oqimi $\frac{\sigma}{2\epsilon_0}$ ga teng bo'ladi.

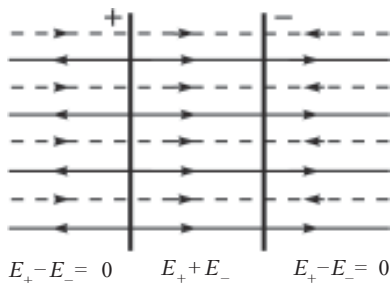
Shunday qilib, tekis zaryadlangan cheksiz tekislik bir jinsli maydon hosil qiladi, uning maydon kuchlanganligi

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \tag{15}$$

ga teng bo'ladi va kattaligi tekislikkacha bo'lgan masofaga bog'liq emas.



17- rasm.



18- rasm.

2. Qarama-qarshi ishorali tekis zaryadlangan ikkita cheksiz parallel tekisliklarning maydon kuchlanganligi. Tekisliklarning sirt zaryad zichliklari $+\sigma$ va $-\sigma$ bo'lsin (18- rasm). Har bir tekislik o'z maydonini hosil qiladi. 18- rasmda tekisliklarning vertikal qirqimi ko'rsatilgan: musbat zaryadlangan tekislik maydoni tutash chiziqlar bilan, manfiy zaryadlangan tekislik maydoni uziq chiziq bilan tasvirlangan.

Tekisliklarning maydonini har bir tekislik hosil qilayotgan maydonlarning superpozitsiyasi sifatida aniqlash mumkin. Musbat zaryadlangan tekislikning maydon kuchlanganligini E_+ bilan, manfiy zaryadlangan tekislikning maydon kuchlanganligini E_- bilan belgilaylik. Tekisliklarning sirt zaryad zichliklari miqdor jihatdan teng bo'lgani sababli tekisliklarning maydon kuchlanganliklari birday bo'ladi, ya'ni

$$E_+ = E_- = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}.$$

18- rasmdan ko'rinib turibdiki, tekisliklar orasidagi maydonlar bir-biriga qo'shiladi, chunki kuch chiziqlari bir tomonga yo'nalgan. Demak, tekisliklar orasidagi maydon kuchlanganligi

$$E = E_+ + E_- = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} \quad (16)$$

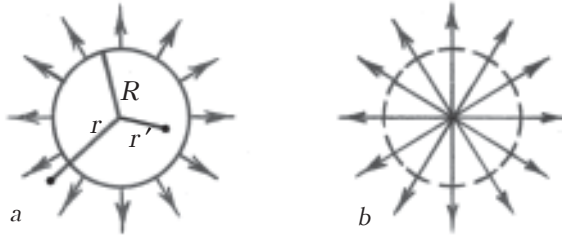
ga teng bo'ladi.

Tekisliklarning chap va o'ng tomonlaridagi maydonlar esa bir-biridan ayriladi (bir-birini kompensatsiyalaydi), chunki kuch chiziqlari bir-biriga qarshi yo'nalgan. Shuning uchun bu sohalarda maydon kuchlanganligi $E = E_+ - E_- = 0$ bo'ladi.

Shunday qilib, qarama-qarshi ishorali tekis zaryadlangan cheksiz parallel tekisliklar hosil qilgan maydon shu ikkala tekislik orasidagi fazoda mujassamlangan va bir jinsli bo'ladi. Maydon kuchlanganligi (16) formula bilan aniqlanadi.

3. Bir tekis zaryadlangan sferaning va sharning maydon kuchlanganligi. Faraz qilaylik, R radiusli sferik sirt $+\sigma$ sirt zichligi bilan tekis zaryadlangan bo'lsin (19- a rasm). Sferaning sirtidagi zaryadning umumiy miqdori $q = 4\pi R^2 \cdot \sigma$ bo'ladi.

Simmetriya nuqtayi nazaridan kuch chiziqlari radial chiziqlar bo'yicha yo'nalgan bo'ladi. Sferik sirtidan tashqarida elektr maydonni ko'raylik. Buning uchun markazi sferaning markazi bilan ustma-ust tushadigan $r > R$ radiusli sferani fikran yasaylik. Bu sferaning barcha nuqtalarida kuch chiziqlarining zichligi bir xil bo'ladi va



19- rasm.

sirt kuch chiziqlariga perpendikular bo'lgani uchun u orqali o'tuvchi to'la kuchlanganlik oqimi $N = E \cdot 4\pi r^2$ bo'ladi. Ostrogradskiy – Gauss teoremasini qo'llab,

$$E \cdot 4\pi r^2 = \frac{q}{\varepsilon_0}$$

ga ega bo'lamiz. Bundan $r \geq R$ bo'lganda zaryadlangan sferaning maydon kuchlanganligi

$$E = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \quad (17)$$

bo'ladi. Demak, *bir tekis zaryadlangan sferik sirtning tashqarisida elektr maydoni zaryadi sferaning zaryadiga teng va sferaning markazida joylashgan nuqtaviy zaryadning maydoni kabi ekan* (19- b rasm).

$r = R$ bo'lganda, $q = 4\pi R^2 \cdot \sigma$ ekanligini e'tiborga olsak,

$$E = \frac{4\pi R^2 \sigma}{4\pi R^2 \varepsilon_0} = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$$

bo'ladi. Bundan chiqadiki, tekis zaryadlangan sferik sirtning kuch chiziqlari sferadan tashqarida joylashgan bo'ladi; sferik sirt bilan chegaralangan hajmning barcha nuqtalarida maydon kuchlanganligi nolga teng, ya'ni $r' < R$ da $E = 0$.

Ostrogradskiy – Gauss teoremasini butun hajmi bo'yicha tekis zaryadlangan sharning hosil qilgan maydoniga tatbiq etib, maydon kuchlanganligini aniqlash mumkin. Natija shuni ko'rsatadiki, shardan tashqarida maydon kuchlanganligi xuddi zaryadlangan sferaning maydon kuchlanganligi kabi (17) formula bilan aniqlanadi, bunda q – shardagi umumiy zaryad. Sharning ichida maydon kuchlanganligi faqat sharning markazida nolga teng bo'ladi, markazdan uzoqlashgan sari maydon kuchlanganligi masofaga proporsional ravishda ortib boradi.

7- §. Elektrostatik maydonda zaryadni ko‘chirishda bajarilgan ish

Bir jinsli elektr maydonda musbat q zaryadni maydonning M nuqtasidan N nuqtasiga ko‘chirishda (20- a rasm) elektr kuchlari ma’lum bir mexanik ish bajaradi. MN yo‘lda bajarilgan ish:

$$A_{MN} = Fl_{MN} = qEl_{MN} \quad (18)$$

ga teng bo‘ladi. MNC yo‘lda bajarilgan ish esa:

$$A_{MNC} = A_{MN} + A_{NC} = Fl_{MC} \cos\alpha. \quad (19)$$

Bunda NC yo‘lda ko‘chirish maydon kuchlanganligiga tik bo‘lgani uchun bajarilgan ish $A_{NC} = 0$ bo‘ladi. 20- a rasmdan $l_{MC} \cos\alpha = l_{MN}$, shuning uchun (19) ifoda

$$A_{MNC} = Fl_{MN} = qEl_{MN} \quad (20)$$

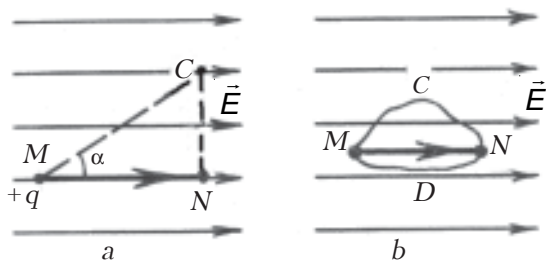
ko‘rinishga keladi. (18) va (20) tengliklarni taqqoslab,

$$A_{MN} = A_{MNC} \quad (21)$$

ekanligini ko‘rsatish mumkin.

Agar q zaryad M nuqtadan N nuqtaga ixtiyoriy egri yo‘l, masalan, MCN bo‘yicha ko‘chgan bo‘lsa (20- b rasm), bu egri chiziqni xuddi 20- a rasmdagidek juda kichik to‘g‘ri chizikli kesmalarga ajratish mumkin va unda har bir bo‘lakda bajarilgan ish (20) formula bo‘yicha hisoblanadi. Shuning uchun MCN yo‘lda bajarilgan ish MN yo‘lda bajarilgan ishga teng bo‘ladi. Shunday qilib, *elektr maydon kuchlarining zaryadni maydonning bir nuqtasidan ikkinchi nuqtasiga ko‘chirishda bajargan ishi yo‘lning shakliga bog‘liq bo‘lmay, balki zaryad ko‘chirish masofasining boshlang‘ich va oxirgi nuqtalariga bog‘liq bo‘ladi*, degan xulosaga kelamiz.

Bu xulosa bir jinsli bo‘lmagan elektr maydon uchun ham to‘g‘ri. Elektr maydon elektr zaryadini ko‘chirishda ish bajarishi



20- rasm.

uchun u energiya zaxirasiga ega bo'lishi kerak. Elektr maydonning bu energiyasi potensial energiya ko'rinishida bo'ladi. Shuning uchun zaryadni elektr maydonda bir nuqtadan ikkinchi nuqtaga istalgan trayektoriya bo'ylab ko'chirishda elektr maydonning bajarigan ishi zaryadlarning ko'chish nuqtalaridagi potensial energiyasining o'zgarishi orqali ifodalanadi:

$$A_{12} = W_{\rho_1} = W_{\rho_2} \quad (22)$$

Demak, maydon ta'sirida q zaryadni ko'chirishda bajarilgan ish zaryadning faqat boshlang'ich va oxirgi vaziyatlarining potensial energiyasi bilan aniqlanadi. Shuning uchun elektrostatik maydon potensial maydon bo'lib hisoblanadi.

8- §. Potensiallar farqi va potensial

Elektr maydonni xarakterlaydigan fizik kattaliklardan yana biri maydon potentsiali dir. Bu tushuncha bilan tanishishda elektr maydonning energetik xarakterda ekanligidan foydalanamiz. Elektr maydonga kiritilgan zaryadning maydon bilan o'zaro ta'sir energiyasi faqat maydonga bog'liq bo'lmasdan, kiritilayotgan zaryad miqdoriga ham bog'liqdir. Shuning uchun elektr maydonning ixtiyoriy nuqtasidagi zaryadning potensial energiyasi kiritilayotgan zaryad miqdoriga to'g'ri proporsionaldir, ya'ni

$$W_p = \varphi q. \quad (23)$$

Bu formuladagi φ proporsionallik koefitsiyenti maydonning har bir nuqtasining energetik xarakteristikasi bo'ladi.

Elektr maydonning berilgan nuqtadagi energetik xarakteristikasi zaryad kiritilgan nuqtadagi maydon potentsiali deb ataladi va u potensial maydonning o'sha nuqtasida joylashgan birlik musbat zaryadning potensial energiyasi bilan o'lchanadi:

$$\varphi = \frac{W_p}{q}. \quad (24)$$

Energiya ham, zaryad ham skalar kattalik bo'lganligidan, potensial ham skalar kattalik bo'ladi. (22) va (23) formulalarga asosan, elektrostatik maydonda q zaryadni ko'chirishda bajariladigan ish quyidagicha ifodalanadi:

$$A = W_{\rho_1} - W_{\rho_2} = q(\varphi_1 - \varphi_2), \quad (25)$$

bu yerda $W_{\rho_1} = q\varphi_1$ va $W_{\rho_2} = q\varphi_2$ — mos ravishda q zaryadning boshlang'ich va oxirgi holatlaridagi potensial energiyasi, $(\varphi_1 - \varphi_2)$ — *potensiallar farqi* deb ataladigan kattalik. Uning fizik mazmunini

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A}{q} \quad (26)$$

ifodadan aniqlash mumkin: *elektr maydonda potentsiali φ_1 bo'lgan nuqtadan potentsiali φ_2 bo'lgan nuqtaga birlik musbat zaryadni ko'chirishda bajarilgan ish bilan o'lchanadigan kattalik shu ikki nuqta orasidagi potentsiallar farqi deyiladi.*

Agar q zaryad potentsiali φ ga teng bo'lgan nuqtadan cheksizlikka ko'chirilgan bo'lsa (bu yerdagi „cheksizlik“ni elektr maydonning ta'siri sezilmaydigan oraliq deb tushunish kerak, bino-barin, $\varphi_\infty = 0$ bo'ladi), u holda

$$\varphi = \frac{A_\infty}{q}. \quad (27)$$

Demak, *elektr maydon nuqtasining potentsiali birlik musbat zaryadni shu nuqtadan cheksizlikka ko'chirishda bajarilgan ishga teng ekan.* Potensial birliklari (27) formula yordamida aniqlanadi. SI da potensial birligi qilib volt (V) qabul qilingan. Agar *bir kulon zaryadni elektr maydonning biror nuqtasidan cheksizlikka ko'chirishda elektr maydon bir joul ish bajarsa, shu nuqtada maydon potentsiali bir voltga teng bo'ladi, ya'ni:*

$$[\varphi] = \left[\frac{A}{q} \right] = \frac{1J}{1C} = 1 \frac{J}{C} = 1V.$$

Potentsiallar farqining o'lchov birliklari ham potentsialning o'lchov birliklari kabi bo'ladi.

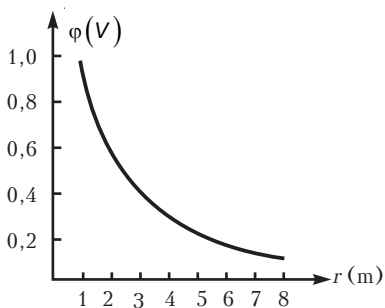
Tegishli hisoblashlarning ko'rsatishicha, nuqtaviy q_0 zaryad hosil qilgan maydon potentsiali SI da quyidagi formula bilan ifodalanadi:

$$\varphi = \frac{q_0}{4\pi\epsilon_0\epsilon r}, \quad (28)$$

bu yerda r – nuqtaviy q_0 zaryaddan potensial aniqlanayotgan nuqtagacha bo'lgan masofa.

(28) formula bir tekis zaryadlangan shar (sfera) maydonining shar (sfera) radiusidan katta masofalardagi potentsiali uchun ham to'g'ri keladi, chunki bir tekis zaryadlangan shar (sfera)ning maydoni o'zidan tashqarida va sirtida nuqtaviy zaryad maydoni bilan bir xil bo'ladi.

Bu (28) formuladan ko'rinadiki, nuqtaviy zaryad potentsiali zaryaddan uzoqlashgan sari masofaga proporsional ravishda kamayib



21- rasm.

boradi. Potensialning masofaga bog‘lanish grafigi $q_0 = 10^{-10}\text{C}$, $\epsilon = 1$ uchun 21- rasmda keltirilgan.

Agar elektr maydon turli nuqtalarda joylashgan bir nechta nuqtaviy zaryadlar tomonidan hosil qilinayotgan bo‘lsa, u holda maydonning har bir nuqtasidagi φ potensial hamma nuqtaviy zaryadlarning shu nuqtada hosil

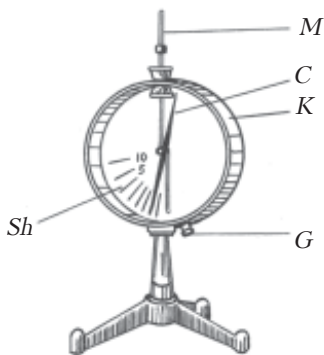
qilgan, $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \dots, \varphi_n$ potenciallarining algebraik yig‘indisidan iborat bo‘ladi:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_n.$$

9- §. Elektrometr. Yerga ulash

Potensiallar farqi elektrometr deb ataladigan asbob vositasida o‘lchanadi. Elektrometrning tuzilishi va ishlash prinsipi bilan tanishib chiqaylik.

Elektroskop yaproqchalarining ochilish burchagi faqat unga berilgan zaryad miqdoriga bog‘liq bo‘lmay, uning boshqa o‘tkazgichlarga nisbatan turgan vaziyatiga ham bog‘liq bo‘lib, elektroskopni boshqa joyga ko‘chirganda uning ko‘rsatishi o‘zgaradi. Shuning uchun elektroskop potensialni yoki potensiallar farqini o‘lchash uchun yaramaydi.



22- rasm.

Elektroskopning ko‘rsatishiga atrofda joylashgan jismlar ta‘sir qilmasligi uchun uni metall qutiga joylashtiriladi. Bunday asbob elektrometr deb ataladi (22- rasm). Elektrometrning asosiy qismi M metall sterjenga gorizontal o‘q vositasida o‘rnatilgan, yengil harakatlanuvchi C strelkadan iborat. Strelka gorizontal o‘q atrofida osongina burila oladi. Strelkaning og‘irlik markazi shunday joylashtirilganki, o‘lchashdan oldin strelka vertikal vaziyatda bo‘ladi. Sterjen metall korpusdan ebonit tiqin bilan yakkalangan.

Ikki o'tkazgich orasidagi potentsiallar farqini o'lchash uchun ularning biri elektrometrning M sterjeniga, ikkinchisi esa K korpusdagi G klemmaga ulanadi. Bunda korpus bilan sterjen orasida o'lchanishi lozim bo'lgan potentsiallar farqi hosil bo'ladi. Elektrometr ichidagi elektr maydon faqat mana shu potentsiallar farqiga bog'liq bo'ladi, chunki zaryadlangan jismlarning tashqi elektr maydoni asbobning metall korpusidan o'tmaydi. Potentsiallar farqi qancha katta bo'lsa, strelkaning burilish burchagi ham shuncha katta bo'ladi. Demak, strelkaning og'ish burchagiga qarab, ikki o'tkazgich orasidagi potentsiallar farqini o'lchash mumkin.

Agar asbobning shaklasida strelkaning og'ish burchaklariga muvofiq keladigan potentsiallar farqi oldindan belgilab qo'yilsa, ya'ni asbob voltlarda darajalangan bo'lsa, o'lchanayotgan potentsiallar farqini strelkaning og'ishiga qarab to'g'ridan to'g'ri volt hisobida olish mumkin.

Elektr maydonning ixtiyoriy nuqtasi potentsialini aniqlash uchun, odatda, Yer ikkinchi (nolinchi) nuqta sifatida olinadi. Chunki Yer juda yaxshi o'tkazgich va uning o'lchami istalgan zaryadlangan jismning o'lchamiga nisbatan juda katta. Shuning uchun zaryadlangan jism Yerga ulanganda uning deyarli hamma zaryadi Yerga o'tadi, Yerning hajmi juda katta bo'lgani uchun uning potentsiali amalda o'zgarmaydi. Demak, Yerga ulangan har qanday o'tkazgich nol potentsialiga ega bo'ladi. O'tkazgichni Yer bilan tutashtirish Yerga ulash deyiladi. Shunday qilib, biror o'tkazgichning potentsialini o'lchash uning potentsiali Yerning potentsialidan qanchaga farq qilishini aniqlash demakdir.

Elektrlangan birorta o'tkazgich bilan Yer orasidagi potentsiallar farqi quyidagicha o'lchanadi: potentsiali o'lchanadigan o'tkazgich elektrometrning sterjeniga, elektrometrning korpusi esa Yerga ulanadi. Bunda sterjen va strelkaning potentsiali tekshirilayotgan o'tkazgichning potentsialiga, korpusning potentsiali esa Yer potentsialiga teng bo'ladi. Sterjen bilan korpus orasidagi potentsiallar farqi tekshirilayotgan o'tkazgich bilan Yer orasidagi potentsiallar ayirmasiga teng bo'ladi.

10- §. Maydon kuchlanganligi bilan potentsiallar farqi orasidagi bog'lanish

Kuchlanganlik va potentsial elektr maydonning biror nuqtasini xarakterlovchi ikki xil kattalik bo'lgani uchun ular orasida bog'lanish bo'lishi tabiiydir. Bir jinsli maydon uchun bu bog'lanish qanday bo'lishini aniqlaylik.

Elektr maydon kuchlanganligi E bo'lgan bir jinsli elektr maydonda (20- a rasimga qarang) q zaryad bir nuqtadan (M) ikkinchi nuqtaga (N) ko'chganda bajarilgan ish (18) formulaga asosan

$$A = qEl$$

edi. Bu ishning ikki nuqta orasidagi potentsiallar farqi orqali ifodasi (25) ga asosan

$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2) = -q(\varphi_2 - \varphi_1) = -q\Delta\varphi \quad (29)$$

bo'ladi. Ishning bu ifodalarni bir-biriga tenglashtirib, maydon kuchlanganligi bilan potentsiallar farqi orasidagi bog'lanishni topamiz:

$$E = -\frac{\varphi_2 - \varphi_1}{l} \quad \text{yoki} \quad E = -\frac{\Delta\varphi}{l}, \quad (30)$$

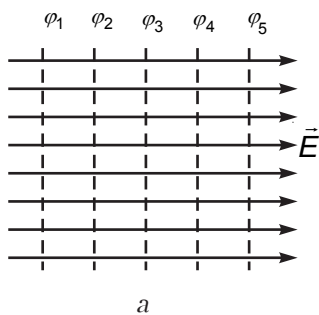
bu yerda $\frac{\Delta\varphi}{l}$ nisbat potentsial gradiyenti deb ataladi, manfiy ishora maydon kuchlanganligi potentsialning kamayishi tomoniga, potentsial gradiyenti esa potentsialning ortishi tomoniga qarab yo'nalgani uchun qo'yilgan.

Demak, *elektr maydon kuchlanganligi potentsial gradiyentining teskari ishora bilan olingan qiymatiga teng ekan.*

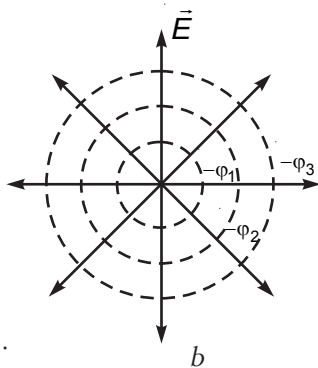
Har qanday elektr maydonni fazoning kichik bir sohasida bir jinsli maydon deb hisoblash mumkin. Shuning uchun l masofa maydon kuchlanganligining o'zgarishi e'tiborga olmasa bo'ladigan darajada kichik bo'lganda (30) formula istalgan maydon uchun to'g'ri bo'ladi.

SI da maydon kuchlanganligi birligi uchun $1\frac{N}{C}$ keltirib chiqarilgan edi. (30) formula yordamida esa uni potentsiallar farqi birligi orqali ham ifodalash mumkin. Agar *bir jinsli maydonda olingan ikki nuqta orasidagi masofa 1 m bo'lganda ulardagi potentsiallar farqi 1 V bo'lsa, bunday elektr maydon kuchlanganligi bir birlikka teng bo'lib, bu birlik $1\frac{V}{m}$ dan iborat bo'ladi.*

Agar zaryad maydon kuch chiziqlariga perpendikular yo'nalishda ko'chirilsa, kuch bilan ko'chirish yo'nalishi orasida $\frac{\pi}{2}$ burchak hosil bo'ladi. Bu vaqtda $\cos\frac{\pi}{2} = 0$ bo'lib, zaryadni ko'chirishda bajarilgan ish nolga teng bo'ladi. Bundan ko'rinadiki,

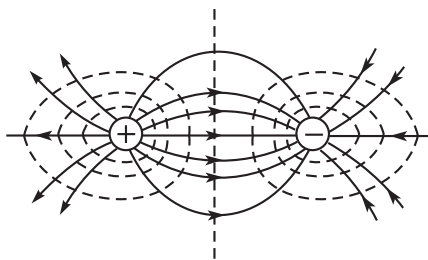


a



23- rasm.

elektr maydonda kuch chiziqlariga perpendikular sirtlar o'tkazilsa, bu sirtlar bo'ylab zaryad ko'chirilganda ish bajarilmaydi. Bu esa kuch chiziqlariga tik bo'lgan har bir sirtning hamma nuqtalari ayni bir potensialga ega ekanligini bildiradi. Hamma nuqtalarida



24- rasm.

potensial qiymati bir xil bo'lgan sirtlar ekvipotensial sirtlar deb ataladi.

Bir jinsli maydon uchun ekvipotensial sirtlar tekislik (23- a rasm), nuqtaviy zaryad maydoni uchun konsentrik sferalar (23- b rasm) dan iborat bo'ladi. Ikki xil ishorali nuqtaviy zaryadlar elektr maydonlarining ekvipotensial sirtlari 24- rasmda tasvirlangandek bo'ladi. Bu rasmlarda tutash chiziqlar bilan elektr maydon kuch chiziqlari, punktir chiziqlar bilan esa ekvipotensial sirtlarning kitob tekisligidagi kesimlari tasvirlangan.

Ekvipotensial sirtlar, kuch chiziqlariga o'xshab, maydonning fazodagi taqsimotini sifat tomonidan ifodalaydi. *Kuchlanganlik vektori ekvipotensial sirtlarga tik bo'lib, potensial kamayadigan tomonga qarab yo'nalgan* bo'ladi.

O'tkazgichlarda musbat zaryadlar maydonning yuqori potentsialli nuqtasidan past potentsialli nuqtasiga tomon, manfiy zaryadlar esa teskari tomonga siljiydi. O'tkazgich sirtining barcha nuqtalarida maydon potentsiali birday bo'lguncha zaryadlarning siljishi davom etadi, potentsiallar tenglashgandan so'ng zaryadlar siljishdan to'xtaydi. Demak, o'tkazgichda zaryadlar muvozanatlashganda o'tkazgichning sirti hamma vaqt maydonning ekvipotensial sirtlaridan biri bo'lib qoladi.



Takrorlash uchun savollar

1. Elektr maydon nima? 2. Elektr maydon kuchlanganligi deb nimaga aytiladi? Uning birliklarini aytib bering. 3. Superpozitsiya prinsipi nimadan iborat? 4. Elektr kuch chiziqlari nima va ularning yo‘nalishi qanday tanlab olinadi? 5. Kuchlanganlik oqimi nima? Ostrogradskiy — Gauss teoremasini ta’riflang. 6. Nuqtaviy zaryad, tekis zaryadlangan sfera, cheksiz tekislik va ikkita parallel cheksiz tekisliklarning maydon kuchlanganliklari ifodasini yozing va tushuntiring. 7. Elektrostatik maydonda zaryadni ko‘chirishda bajarilgan ish qanday formulalar yordamida topiladi? 8. Elektr maydon potentsiali deb nimaga aytiladi? Uning birligini aytib bering. 9. Elektr maydon kuchlanganligi bilan potentsiallar farqi orasidagi bog‘lanish qanday ifodalanadi? 10. Ekvipotensial sirtlar deb qanday sirtlarga aytiladi?



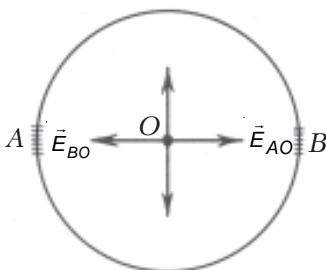
MASALA YECHISH NAMUNALARI

1- masala. Bir tekis zaryadlangan sim halqaning markazidagi maydon kuchlanganligi nimaga teng?

Yechilishi. Halqaning markazidagi maydon kuchlanganligini topish uchun halqani juda ko‘p mayda bo‘lakchalardan — elementlardan tashkil topgan deb qaraymiz. Har bir elementni nuqtaviy zaryad deb qarash mumkin (25- rasm).

Halqaning markazidagi kuchlanganlik zaryadli halqaning har bir elementi hosil qilgan kuchlanganliklarning geometrik yig‘indisiga teng bo‘ladi. Halqaning bir tomonidagi har bir elementning halqa markazida hosil qilgan maydon kuchlanganligi qarama-qarshi tomondagi elementlar hosil qilgan kuchlanganlikka miqdor jihatdan teng, yo‘nalishi esa qarama-qarshi bo‘ladi. Masalan, A va B elementlarning halqa markazi O nuqtada hosil qilgan umumiy kuchlanganligi $\vec{E} = \vec{E}_{AO} + \vec{E}_{BO} = 0$ bo‘ladi, chunki

$$|\vec{E}_{AO}| = |\vec{E}_{BO}|.$$



25- rasm.

Xuddi shuningdek, boshqa qarama-qarshi joylashgan elementlarning halqa markazida hosil qilgan kuchlanganliklari yig‘indisi ham nolga teng bo‘ladi. Shuning uchun ham halqa markazidagi umumiy kuchlanganlik nolga teng bo‘ladi.

2- masala. Zaryadi $5 \cdot 10^{-9} \text{C}$, massasi 8 mg bo‘lgan cheksizlikdan $3,6 \frac{\text{km}}{\text{soat}}$ tezlik

bilan kelayotgan zarra zaryadi $1,33 \cdot 10^{-8}$ C bo'lgan nuqtaviy zaryadga qancha masofada yaqinlasha oladi?



26- rasm.

Berilgan:

$$q_1 = 5 \cdot 10^{-9} \text{ C}, \quad m = 8 \text{ mg} = 8 \cdot 10^{-6} \text{ kg}; \quad v = 3,6 \frac{\text{km}}{\text{soat}} = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}};$$

$$\frac{q_2 = 1,33 \cdot 10^{-8} \text{ C.}}{r - ?}$$

Yechilishi. q_1 zaryad q_2 zaryadga shunday r masofagacha yaqinlasha oladiki (26- rasm), q_2 zaryadning bu masofaga cheksizlikdan uchib kelishidagi ΔW_k kinetik energiyasining o'zgarishi q_2 zaryad maydoni tomonidan q_1 zaryadni ko'chirishga qarshi bajarilgan ishga teng bo'ladi, ya'ni:

$$\Delta W_k = A. \quad (a)$$

Bizga mexanikadan ma'lumki,

$$\Delta W_k = W_{k\infty} - W_{kD} = \frac{mv^2}{2} - 0 = \frac{mv^2}{2}, \quad (b)$$

chunki D nuqtada q_1 zaryad to'xtaydi ($v_D = 0$), shuning uchun $W_{kD} = 0$ bo'ladi.

$$A = q_1 (\varphi_D - \varphi_\infty) = q_1 \frac{q_2}{4\pi\epsilon_0 r} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r}. \quad (d)$$

(b) va (d) ni (a) ga qo'yib, r ni topamiz:

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r}, \quad \text{bundan } r = \frac{q_1 q_2}{2\pi\epsilon_0 m v^2}.$$

$$\text{Hisoblash: } r = \frac{5 \cdot 10^{-9} \text{ C} \cdot 1,33 \cdot 10^{-8} \text{ C}}{2 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{N} \cdot \text{m}^2} \cdot 8 \cdot 10^{-6} \text{ kg} \cdot 1 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}} = 0,15 \text{ m}.$$

3- masala. φ_1 potensialgacha zaryadlangan n ta bir xil sharsimon tomchilarning qo'shilishi natijasida hosil bo'lgan katta tomchining φ potentsiali qanday bo'ladi?

$$\text{Berilgan: } \frac{\varphi_1, n.}{\varphi - ?}$$

Yechilishi. Katta tomchining potentsiali

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R} \quad (a)$$

formuladan topiladi, bunda: R – katta tomchining radiusi, $q = nq_1$ uning zaryadi, q_1 – bir dona kichik tomchining zaryadi bo‘lib, uning zaryadi

$$\varphi_1 = \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0 r} \text{ dan}$$

$$q_1 = 4\pi\epsilon_0 r\varphi_1 \quad (b)$$

bo‘ladi, bunda r – kichik tomchining radiusi.

Katta tomchining hajmi kichik tomchilar hajmlarining yig‘indisiga teng, ya‘ni:

$$V = nV_1.$$

Sharlarning hajmi mos ravishda

$$V = \frac{4}{3}\pi R^3 \text{ va } V_1 = \frac{4}{3}\pi r^3 \text{ bo‘lganligidan, } R^3 = nr^3 \text{ yoki } R = r\sqrt[3]{n}$$

bo‘ladi.

q va R larning ifodalarini (a) ga qo‘ysak,

$$\varphi = \frac{nq_1}{4\pi\epsilon_0 r\sqrt[3]{n}} = \frac{n \cdot 4\pi\epsilon_0 r\varphi_1}{4\pi\epsilon_0 r\sqrt[3]{n}} = \frac{n}{\sqrt[3]{n}} \varphi_1 = \sqrt[3]{n^2} \varphi_1$$

ni topamiz.

4- masala. Potensiallar farqi 0,8 kV bo‘lgan ikkita parallel plastinka orasida radiusi $2 \mu\text{m}$ bo‘lgan suv tomchisi muallaq turibdi. Plastinkalar orasidagi masofa 6 sm bo‘lsa, tomchining zaryadi qancha?

$$\text{Berilgan: } \Delta\varphi = 0,8\text{kV} = 800\text{V}; r = 2\mu\text{m} = 2 \cdot 10^{-6}\text{m}; d = 6\text{sm} = 6 \cdot 10^{-2}\text{m};$$

$$\rho = 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}.$$

$$q - ?$$

Yechilishi. Elektr maydondagi zaryadga ikkita kuch ta‘sir etadi: og‘irlik kuchi $P = mg$ va elektr kuchi $F = qE = q\frac{\Delta\varphi}{d}$. Bu kuchlar bir-biriga teng bo‘lganda zaryadli zarra muallaq holatda bo‘ladi, ya‘ni $q\frac{\Delta\varphi}{d} = mg$. Bundan

$$q = \frac{mgd}{\Delta\varphi} \quad (a)$$

kelib chiqadi.

Tomchining m massasini uning ρ zichligi va V hajmi orqali, so‘ngra hajmi radius orqali ifodalaymiz:

$$m = \rho V = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho. \quad (b)$$

Bunda ρ — suvning zichligi bo‘lib, uning qiymati jadvaldan olinadi.
 (b) ni (a) ga qo‘yamiz:

$$q = \frac{4\pi r^3 \rho g d}{3\Delta\varphi}$$

$$\text{Hisoblash: } q = \frac{4 \cdot 3,14 \cdot (2 \cdot 10^{-6} \text{ m})^3 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 6 \cdot 10^{-2} \text{ m}}{3 \cdot 8 \cdot 10^2 \text{ V}} \approx 2,4 \cdot 10^{-17} \text{ C.}$$

5- masala. 792 V potensialgacha zaryadlangan sharcha zaryadining sirt zichligi $3,33 \cdot 10^{-7} \frac{\text{C}}{\text{m}^2}$. Sharchaning radiusini toping.

$$\text{Berilgan: } \varphi = 792 \text{ V}, \sigma = 3,33 \cdot 10^{-7} \frac{\text{C}}{\text{m}^2}.$$

$r - ?$

Yechilishi. Zaryadlangan sharning sirtida maydon potentsiali

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

ifodadan aniqlanadi, bu yerda: r — sharning radiusi, q — zaryadi. q zaryadni uning sirt zichligi σ orqali $q = 4\pi r^2 \cdot \sigma$ ifodadan aniqlash mumkin, bunda $4\pi r^2$ sharning sirti. q ning bu qiymatini potensial ifodasiga keltirib qo‘yamiz:

$$\varphi = \frac{4\pi r^2 \sigma}{4\pi\epsilon_0 r} = \frac{r\sigma}{\epsilon_0}, \text{ bundan } r = \frac{\varphi \cdot \epsilon_0}{\sigma}.$$

$$\text{Hisoblash: } r = \frac{792 \text{ V} \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{N} \cdot \text{m}^2}}{3,33 \cdot 10^{-7} \frac{\text{C}}{\text{m}^2}} = 0,021 \text{ m} = 2,1 \cdot 10^{-2} \text{ m.}$$

6- masala. 18 pC zaryadga ega bo‘lgan 0,2 sm radiusli sharcha havoda turibdi. Potentsiallari bir-biridan 15V ga farq qiladigan ekvipotensial sirtlarning radiuslarini toping. Boshqa zaryadlangan jismlarning ta‘sirini hisobga olmang.

$$\text{Berilgan: } r_0 = 0,2 \text{ sm} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}, q = 18 \text{ pC} = 18 \cdot 10^{-12} \text{ C}, \Delta\varphi = 15 \text{ V.}$$

$r_1 - ?, r_2 - ?, \dots, r_n - ?$



27- rasm.

Yechilishi. Shar simmetriyaga ega, shuning uchun q zaryad uning sirtida bir tekis taqsimlanadi. Binobarin, shar sirtining barcha nuqtalarida potensial birday bo‘ladi, ya’ni sharning sirti ekvipotensial sirt hisoblanadi. Sharining sirtida maydon potentsiali

$$\varphi_0 = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r_0} \quad (a)$$

formuladan aniqlanadi, bu yerda r_0 — sharning radiusi. Zaryadlangan shar hosil qilgan maydonda ekvipotensial sirtlar markazlari sharning markazi bilan ustma-ust tushadigan sferik sirtlardan iborat (27- rasm).

Agar shar markazidan n - ekvipotensial sirtgacha bo‘lgan masofa r_n bo‘lsa, bu sirtidagi potensial

$$\varphi_n = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r_n} \quad (b)$$

bo‘ladi. φ_0 potensial bilan φ_n potensial orasida quyidagicha bog‘lanish mavjud:

$$\varphi_n = \varphi_0 - n \cdot \Delta\varphi, \quad (d)$$

bu yerda $n = 1, 2, 3, s$ — butun son qiymatlarini oladi.

(d) ifodaga φ_0 va φ_n larning (a) va (b) qiymatlarini keltirib qo‘yamiz:

$$\frac{q}{4\pi\epsilon_0 r_n} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r_0} - n \cdot \Delta\varphi, \quad \text{bundan } r_n = \frac{qr_0}{q - 4\pi\epsilon_0 r_0 \cdot n \cdot \Delta\varphi}.$$

$$\text{Hisoblash: } r_1 = \frac{18 \cdot 10^{-12} \text{ C} \cdot 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}}{18 \cdot 10^{-12} \text{ C} - 4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{N} \cdot \text{m}^2} \cdot 2 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot 115 \text{ V}} =$$

$$= 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 2,4 \text{ mm}.$$

$$r_2 = \frac{18 \cdot 10^{-12} \text{ C} \cdot 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}}{18 \cdot 10^{-12} \text{ C} - 4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{N} \cdot \text{m}^2} \cdot 2 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot 2 \cdot 115 \text{ V}} =$$

$$= 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 3,2 \text{ mm}.$$



MUSTAQIL YECHISH UCHUN MASALALAR

8. Elektrostatik va gravitatsion maydonlar orasidagi o‘xshashlik va farqlanuvchi tomonlarni imkoni boricha kengroq ko‘rsating.

9. Ikkita bir xil ishorali nuqtaviy zaryad bir-biridan r masofada turibdi. Bu zaryadlarni tutashtiruvchi to‘g‘ri chiziqning o‘rtasida olingan nuqtadagi kuchlanganlik va potensial aniqlansin.

10. Suvda o'zidan 10 m uzoqlikda $1 \frac{\text{V}}{\text{m}}$ kuchlanganlik hosil qilayotgan zaryadning kattaligini aniqlang.

11. Bir jinsli elektr maydon kuchlanganligi qanday bo'lganda elektron $1,6 \cdot 10^{-13} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ tezlanish bilan harakatlanadi?

12. Agar $13,3 \cdot 10^{-9} \text{ C}$ bo'lgan zaryadni maydonning bir nuqtasidan ikkinchi nuqtasiga ko'chirish uchun $1 \cdot 10^{-5} \text{ J}$ ish bajarish kerak bo'lsa, nuqtalar orasidagi potentsiallar farqi nimaga teng bo'lishini aniqlang.

13. Massasi 500 mg va zaryadi $1 \cdot 10^{-4} \text{ C}$ bo'lgan zarra potentsiali 500 V bo'lgan A nuqtadan potentsiali nol bo'lgan B nuqtaga ko'chadi.

Agar zarra B nuqtada $20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ tezlikka erishgan bo'lsa, uning A nuqtada qanday tezlikka ega bo'lganini aniqlang.

14. Radiuslari 1 mm, zaryadlari $2 \cdot 10^{-10} \text{ C}$ bo'lgan 8 ta kichik suv tomchilarini birlashtirib, bitta katta tomchi hosil qilingan. Katta tomchining potentsialini aniqlang.

15. Oraliqlari 20 mm bo'lgan yassi parallel plastinkalar 0,8 kV potentsialgacha zaryadlangan. Plastinkalar oralig'iga qo'yilgan $3 \cdot 10^{-3} \text{ C}$ zaryadga ta'sir etuvchi kuchni aniqlang.

16. Zaryadlari 1,0 C va $6,7 \cdot 10^{-9} \text{ C}$ bo'lgan ikki zarra orasidagi masofa 10 sm. Ikkinchi zarrani birinchi zarradan 1 m masofaga ko'chirish uchun qancha ish bajarish kerak?

17. Agar zaryadni biron-bir ekvipotensial sirt bilan ustma-ust tushadigan qilib zaryadlanmagan yupqa metall parda bilan o'ralsa, zaryad hosil qilgan elektr maydon o'zgaradimi?

18. Yakkalangan ikkita zaryadlangan metall sharlarning potentsiallar farqini qanday o'lchash mumkin? Kerakli asboblarni ayting va ularning qanday ishlatilishini chizib ko'rsating.

11- §. Elektr maydonda o'tkazgichlar

Hamma moddalar o'zlarining elektr xossalriga qarab, o'tkazgichlarga, dielektriklarga (izolatorlarga) va yarimo'tkazgichlarga bo'linadi.

Erkin zaryadlari bo'lgan va bu zaryadlar elektr maydon ta'sirida erkin harakatlana oladigan moddalar o'tkazgichlar deyiladi. Barcha metallar, ko'mir, grafit, kislota, tuz va asoslarning eritmalari o'tkazgichlarga misol bo'la oladi.

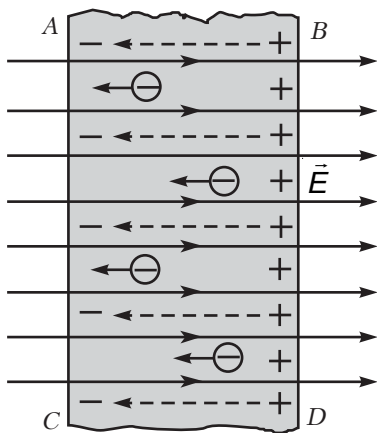
Elektr zaryadlari erkin ko'cha olmaydigan moddalar o'tkazgichmaslar — dielektriklar (izolatorlar) deb ataladi. Bunday moddalarda tajriba vaqtida elektr zaryadlari ularning qayerida

hosil bo'lsa, o'sha joyda turaveradi. Bularga shisha, smola, chinni, kauchuk, ebonit, ipak, toza suv, kerosin, sluda, parafin, moylar va boshqa ko'p moddalar kiradi.

O'tkazgichlar bilan dielektriklar orasida oraliq o'rinni egallovchi moddalar yarimo'tkazgichlar deb ataladi. Bularga germaniy, kremniy, mis (II) oksidi, selen, galliy sulfid va boshqalarni misol qilib keltirish mumkin. Oddiy sharoitlarda bu moddalar o'zlarining xossalari ko'ra dielektriklarga yaqin turadi, lekin tashqi ta'sirlar ostida, masalan, nurlantirilgan yoki isitilganda o'tkazgichlarga aylanishi mumkin.

Umuman, moddalarning o'tkazgichlar, yarimo'tkazgichlar va dielektriklarga bo'linishi shartlidir. Chunki ayni bir moddaning elektr xossalari tashqi sharoitga qarab keskin o'zgarishi mumkin. Shuning uchun ular orasiga keskin chegara qo'yib bo'lmaydi. Masalan, shisha oddiy sharoitda izolator bo'ladi, biroq nam havoda o'zining izolatorlik xususiyatini yo'qotadi. Agar shisha juda qizdirilsa yoki eritilsa, u o'tkazgich bo'lib qoladi.

Yuqorida aytib o'tilganidek, o'tkazgichlarda erkin elektr zaryadlari bo'ladi. Metallarda o'z atomlari bilan bog'lanishini yo'qotib qo'ygan elektronlar ana shunday erkin zaryadlarni hosil qiladilarki, biz ularni erkin elektronlar deb ataymiz. Agar elektr maydonga metall o'tkazgichni joylashtirsak (28-rasm), o'tkazgichdagi erkin elektronlar tashqi maydon ta'siri ostida shu maydon kuchlanganligiga qarama-qarshi yo'nalishda ko'chadi va natijada o'tkazgichning AC sirtida ortiqcha manfiy zaryad, BD sirtida esa ortiqcha musbat zaryad paydo bo'ladi. Shunday qilib, elektr maydonga kiritilgan o'tkazgich elektrlanadi. O'tkazgich sirtida paydo bo'lgan



28-rasm.

zaryadlar o'tkazgichning ichida qo'shimcha maydon hosil qiladi. Bu maydonning kuch chiziqlari 28-rasmda shtrix chiziq bilan ko'rsatilgandek, asosiy maydon kuch chiziqlariga qarama-qarshi yo'nalgan. Zaryadlarning harakatlanishi o'tkazgich ichida zaryadlar hosil qilgan ichki maydon tashqi maydonga tenglashgunga qadar, ya'ni umumiy kuchlanganlik nolga teng bo'lguncha davom etadi. Elektr maydonda turgan o'tkazgichdagi zaryadlar muvozanatga kelganda, o'tkazgich ichida

maydon bo'lmaydi. Bunda o'tkazgich barcha nuqtalarida kuchlan- ganlik nolga teng bo'lgani uchun, (30) formuladan $\frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d} = 0$, bundan $\varphi_1 - \varphi_2 = 0$ yoki $\varphi_1 = \varphi_2$ ga ega bo'lamiz. Demak, zaryadlar muvozanatda bo'lganda o'tkazgich sirtidagi hamma nuqtalarning potentsiali bir xil bo'ladi.

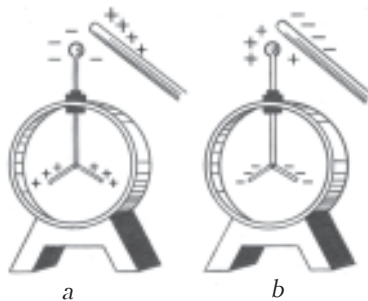
O'tkazgich ichida elektr maydon bo'lmaslik hodisasidan jism- larni (elektr maydonga nisbatan sezgir asboblarni) tashqi elektr maydon ta'siridan himoya qilishda foydalaniladi. Buning uchun jismni yupqa elektr o'tkazuvchi qatlam bilan o'rash, masalan, metall quti ichiga qo'yish kerak. Bunday quti ichida maydon bo'lmaydi. Jismlarni tashqi elektr maydondan saqlash e l e k t r o - s t a t i k h i m o y a (muhofaza) deyiladi.

12- §. Elektrostatik induksiya. Zaryadning sirt bo'yicha taqsimoti

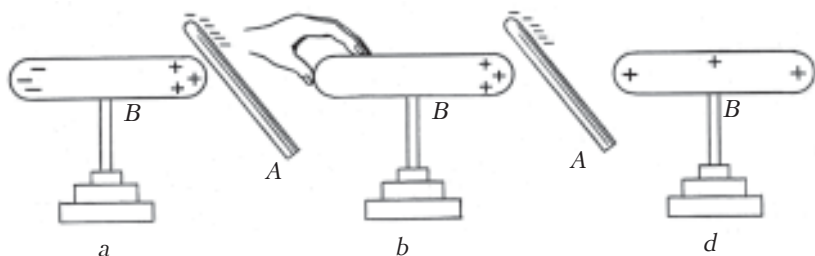
Elektroskopga elektrlangan tayoqcha yaqin keltirilganda, uning maydoni elektroskopga ta'sir ko'rsatishi natijasida elektroskopning yaproqchalari ochiladi (29- rasm). Demak, elektroskop zaryad- lanadi. Tayoqchani elektroskopdan uzoqlashtirsak, uning yaproq- chalari orasidagi burchak kichrayadi, ya'ni elektroskop qaytadan zaryadsizlanib qoladi.

Endi elektrlangan jism yaqinlashtirilganda elektroskop yaproq- chalarida zaryadlar qanday paydo bo'lishini ko'rib chiqaylik. Elektroskopga zaryadlangan jism yaqin keltirilganda sterjenga elektr maydon ta'sir qiladi va bu maydon ta'sirida erkin elektronlar metall sterjen ichida harakatga keladi. Agar elektroskopga musbat zaryad- langan jism yaqin keltirilsa, u holda elektronlar elektroskopning sharchasiga to'planadi, yaproqchalarda esa musbat zaryad ortiqcha bo'lib qoladi (29- a rasimga qarang).

Elektroskopga manfiy zaryad- langan jism yaqinlashtirilganda (29- b rasimga qarang), elektronlar elektr maydon ta'sirida sterjenning pastki uchiga ketadi. Bu tajribalardan ko'rinadiki, ikkala holda ham elek- troskop sterjenining uchlarida bir- biriga nisbatan qarama-qarshi isho- rali zaryadlar to'planar ekan. Elek- troskop sterjenining zaryadlangan



29- rasm.

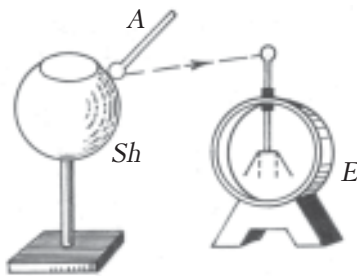


30- rasm.

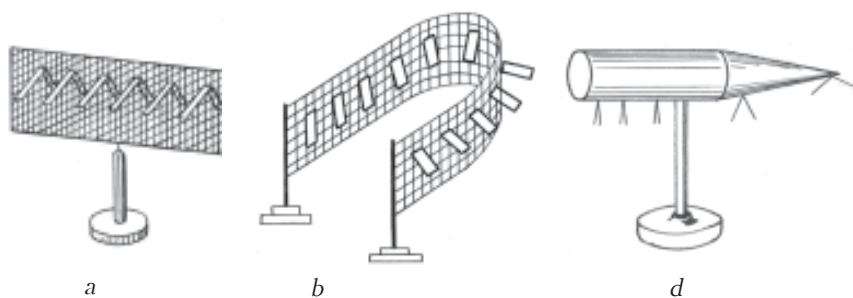
jism yaqinlashtirilayotgan uchida doimo mazkur jismdagi zaryadga qarama-qarshi, uzoqdagi uchida esa u bilan bir xil ishorali zaryad hosil bo'ladi. Ta'sir etuvchi jism uzoqlashtirilsa, elektronlar yana o'tkazgich bo'ylab bir tekis taqsimlanadi va o'tkazgich zaryadsizlanib qoladi. Jismlarning tashqi elektr maydon ta'sirida elektrlanish hodisasi elektrostatik induksiya yoki ta'sir orqali elektrlash deb ataladi.

Elektrostatik induksiyadan foydalanib o'tkazgichdagi zaryadlarni vaqtincha ajratishgina emas, balki o'tkazgichni elektrlash ham mumkin. Manfiy zaryadlangan *A* jismni izolatsiyalovchi taglikka o'rnatilgan, zaryadlanmagan *B* o'tkazgichga yaqin keltiraylik (30- *a* rasm). *A* zaryadlangan jismning elektr maydonida *B* o'tkazgich elektrostatik induksiya orqali elektrlanadi. *B* o'tkazgichning *A* jismdan uzoqdagi qismida erkin elektronlar to'planadi. Endi *B* o'tkazgichni qisqa vaqt Yerga ulaymiz, masalan, barmog'imizni tekkizamiz (30- *b* rasm). Bunda elektronlar qo'limiz bo'ylab Yerga o'tib ketadi. O'tkazgichdan qo'limizni olsak va zaryadlangan *A* jismni *B* dan uzoqlashtirsak, *B* o'tkazgichda elektronlar yetishmay, u musbat zaryadlanib qoladi (30- *d* rasm). *B* o'tkazgichni xuddi shu yo'l bilan manfiy zaryadlash ham mumkin. Buning uchun o'tkazgichni musbat zaryad maydoniga qo'yish mumkin. O'tkazgich qisqa vaqt Yerga ulab olingach, u manfiy zaryadlanib qoladi.

Har xil jismlarning zaryadlangan jismlarga tortilishining sababi ham ularning elektrostatik induksiya orqali elektrlanishidir. O'tkazgichda zaryadlar qanday taqsimlanishini tajribada aniqlaylik. Kichikroq teshikli ichi bo'sh *Sh* metall sharni izolatorli taglikka o'rnatib, uni zaryadlaymiz. Zaryadlarning sharda taqsimlanishini *A*



31- rasm.



32- rasm.

sinash shari va E elektroskop yordamida tekshirish mumkin (31- rasm). Sinash shari izolatsion tutqichga mahkamlangan kichik metall shardan iborat. Agar sinash sharini Sh sharning tashqi sirtiga tekkizib, so'ngra uni elektroskopga tekkizilsa, elektroskop yaproqchalari ochiladi. Xuddi shu tajribani takrorlab sinash sharini Sh sharning ichiga tekkizsak, elektroskop yaproqchalari ochilmaydi. Bu tajribalardan ko'rinadiki, *o'tkazgich zaryadlanganda unga berilgan zaryad o'tkazgichning hajmi bo'yicha taqsimlanmasdan, balki o'tkazgichning tashqi sirti bo'yicha taqsimlanar ekan.*

Xuddi shunday tajriba ikki tomoniga yupqa qog'oz yaproqchalari yopishtirilgan metall to'r yordamida amalga oshirilsa, yanada ko'rgazmaliroq bo'ladi. Metall to'rni zaryadlaganda ikkala tomondagi qog'oz yaproqchalari ochiladi (32- a rasm). Agar metall to'r yoy kabi bukilsa (32- b rasm), yoyning ichki tomonidagi qog'oz yaproqchalari yopilib, tashqi tomonidagi qog'oz yaproqchalari ochiladi. Demak, hamma zaryadlar to'rning tashqi sirtiga o'tadi.

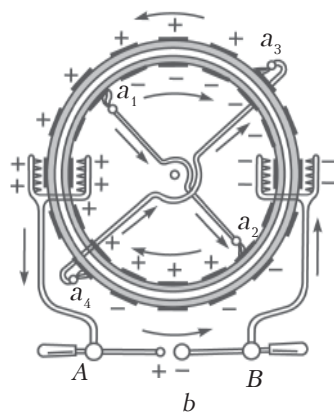
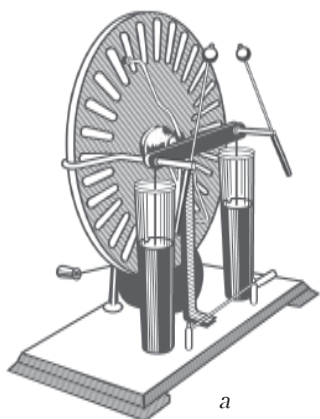
Endi zaryadlar o'tkazgich sirtining o'zida qanday taqsimlanishini aniqlaylik. Sinash sharini elektrlangan sharning turli nuqtalariga, so'ngra elektroskopga tekkizib, shar sirtida zaryadlar tekis taqsimlanganiga ishonch hosil qilish mumkin.

Sirtining egriligi har xil bo'lgan o'tkazgichga yupqa qog'oz yaproqchalari yopishtirib, uni elektrlasak, uchli joylarda yaproqchalar ko'proq ochilishini kuzatamiz (32- d rasm).

Bu tajribalardan ko'rinadiki, o'tkazgich zaryadlanganda zaryad o'tkazgichning sirt tuzilishiga qarab taqsimlanar ekan.

13- §. Elektrofor mashina

Ishqalash va ta'sir orqali elektr zaryadi hosil qilish usuli turli elektr mashinalarida foydalaniladi. Hozirgi vaqtda laboratoriya amaliyotida Uimsherstning elektr ofor mashinasiga keng qo'l-



33- rasm.

laniladi (33- a rasm). Uning yordamida elektr zaryadni uzluksiz hosil qilish va to'plash mumkin. Bu mashinada izolatsiyalovchi material (ebonit, shisha va h.k.) dan yasalgan ikkita disk bitta umumiy o'qqa o'rnatilgan bo'lib, ular qarama-qarshi tomonga aylantiriladi. Disklarning tashqi sirtlariga metall varaqchalar yopishtirilgan. Bu varaqchalarning qarshisida yoysimon metall tutqichlarga birlashtirilgan metall cho'tkalar o'rnatilgan bo'lib, ular diskning diametri bo'yicha joylashgan varaqchalarni bir-biri bilan tutashtiradi. Har birida ikkitadan cho'tkasi bo'lgan shunday ikkita tutqich ikkita diskka tegishli bo'lib, ular o'zaro perpendikular qilib joylashtirilgan. Boshqa ikkita, ichkari sirtining oxirlari uchli qilib yasalgan metall taroq bilan qoplangan vilkasimon tutqichlar bo'lib, ularning har biri ikkala diskni ikki tomonidan qamrab olib, mashinaning qutblariga (konduktorlariga) keladigan zaryadlarni olib turish uchun xizmat qiladi.

Mashinaning ishlash prinsipini 33- b rasm yordamida tushuntirish mumkin. Bu rasmda har bir disk shtrixlangan halqa ko'rinishida tasvirlangan; egri strelkalar halqalarning aylanish yo'nalishini, to'g'ri strelkalar esa musbat zaryadlarning harakat yo'nalishini ko'rsatadi. Metall varaqchalar to'g'ri to'rtburchak shaklida tasvirlangan. Mashina aylanganida cho'tkalarining varaqchalarga ishqalanishi natijasida ular elektrlanishi mumkin. Faraz qilaylik, a_1 cho'tkaning ishqalanishi tufayli shunday dastlabki zaryadlar hosil bo'lsin, bu yerda metall varaqcha manfiy, cho'tka esa tutqich bilan birga musbat zaryadlanadi. U holda „ichki“ disk aylanganda yuqorida hosil bo'lgan manfiy zaryadlar o'ng tomondagi uchli vilkasimon tutqichga tomon yo'naladi va uning yordamida B konduktorga o'tib to'planadi. O'z yo'lida bu manfiy zaryadlar a_3 cho'tkaga tegib o'tadigan varaqchalarda („tashqi“ halqaning yuqorisidagi varaq-

chalarida) musbat zaryadlarni induksiyalaydi va ular chap tomondagi vilkasimon tutqich orqali *A* konduktorga o'tadi. 33- *b* rasmning past qismida ham shunday jarayon sodir bo'ladi, farqi shundaki, „ichki“ halqaning varaqchalari musbat zaryad bilan, „tashqi“ halqaniki esa manfiy zaryad bilan zaryadlanadi.

Shunday qilib, ikkala diskning aylanishi natijasida o'zaro ta'sir orqali yangidan yangi elektr zaryadlari hosil bo'laveradi va ular konduktorlarda yig'ilaveradi. Bu yerda qarama-qarshi ishorali zaryadlarning ko'chishi qarama-qarshi tomonga bo'lgani sababli *A* va *B* konduktorlarning zaryadlanishi kuchaya boradi.

Qulay sharoitlarda elektrofor mashinalar 100000 V gacha bo'lgan kuchlanishni bera oladi, bunda sekundiga uzatiladigan zaryad miqdori juda ham oz ($\sim 10^{-5}$ C) bo'ladi.

14- §. Elektr maydonda dielektirkalar. Dielektriklarning qutblanishi

Ma'lumki, dielektriklarda o'tkazgichlardan faqr qilib, erkin harakatlanuvchi zaryadlar bo'lmaydi. Dielektriklarning atom va molekulari ichida manfiy va musbat zaryadlangan zarralar elektr kuchlari bilan o'zaro bog'langan bo'ladi-yu, ammo bu bog'lanish mutlaqo qattiq bo'lmay, zarralar ularga qo'yilgan tashqi kuchlarning ta'siri ostida ma'lum darajada siljishi mumkin. Har bir molekulada manfiy va musbat zaryadlarning miqdori bir xil bo'lganligi uchun har qanday molekula, umuman olganda, zaryadlanmagan — neytral bo'ladi.

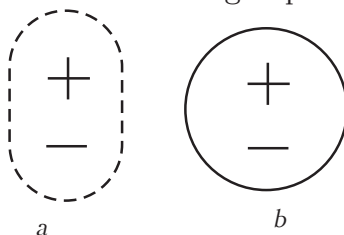
Dielektriklarni uch turga bo'lish mumkin:

1) musbat va manfiy zaryadlar taqsimotining markazlari ustma-ust tushmaydigan molekularlardan (34- *a* rasm) tuzilgan q u t b l i d i e l e k t r i k l a r (masalan, suv, spirt, aseton, efir, organik kislotalar);

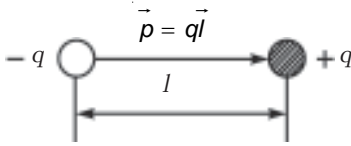
2) musbat va manfiy zaryadlar taqsimotining markazlari ustma-ust tushadigan (34- *b* rasm) atom va molekularlardan tuzilgan qutbsiz dielektirkalar (masalan, parafin, benzol, N_2 , H_2);

3) ionli kristall dielektriklar (masalan, NaCl, KCl, KBr).

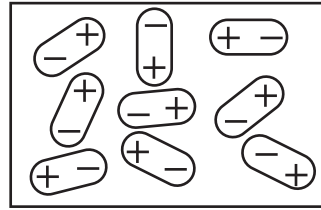
Oralaridagi masofa juda kichik va zaryadlari miqdori jihatidan teng, ishoralari qarama-qarshi bo'lgan ikkita nuqtaviy



34- rasm.



35- rasm.

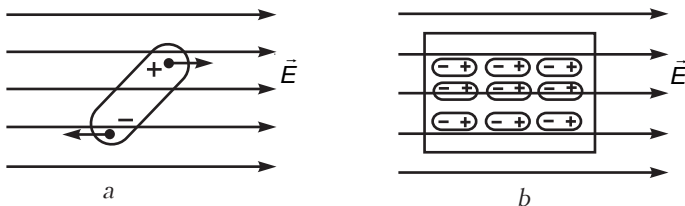


36- rasm.

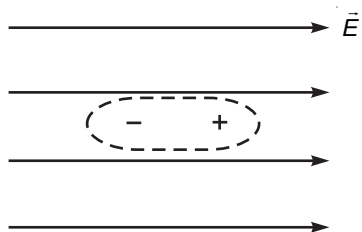
zaryad sistemasi elektr dipol deb ataladi (35- rasm). Musbat zaryadning zaryadlar orasidagi l masofaga ko'paytmasi $p = ql$ dipol momenti deb ataladi. Zaryadlarni birlashtiruvchi to'g'ri chiziq dipol o'qi deb ataladi. Odatda, dipol momenti uning o'qi bo'ylab manfiy zaryaddan musbat zaryad tomon yo'nalgan bo'ladi (35- rasmga qarang). Agar nuqtaviy zaryadlar orasidagi masofani manfiy zaryaddan musbat zaryadga tomon yo'nalgan \vec{l} vektori bilan xarakterlansa, u holda dipol momentini $\vec{p} = q\vec{l}$ vektor ko'rinishda ifodalash mumkin.

Qutbli dielektriklarning molekularini elektr dipol deb qarash mumkin. Dielektrikning normal holatida dipollar tartibsiz joylashgan bo'ladi (36- rasm) va dipollarning maydonlari bir-birini o'zaro susaytiradi, shuning uchun dielektrik tashqarisida maydon sezilmaydi.

Agar qutbli dielektrikni tashqi elektr maydonga joylashtirsak, har bir dipolga uni tashqi maydon kuch chiziqlari bo'yicha burishga intiluvchi juft kuchlar ta'sir qiladi (37- a rasm). Dielektrikdagi dipollar musbat uchlari bilan kuch chiziqlari yo'nalishida buriilib, marjon shaklida maydon kuch chiziqlari bo'ylab tartibli joylashib qoladi (37- b rasm). *Dielektrikdagi elektr dipollarning tartibli joylashish hodisasi dielektrikning qutblanishi* deb ataladi. Molekulalarning xaotik — issiqlik harakati dipollarning tartibli joylashishiga xalaqit beradi, shuning uchun ular kuch chiziqlari yonida tebranma harakat qilib turadi. Tashqi maydon qancha kuchli bo'lsa, dipollar shunchalik tartibli joylashadi.



37- rasm.



38- rasm.



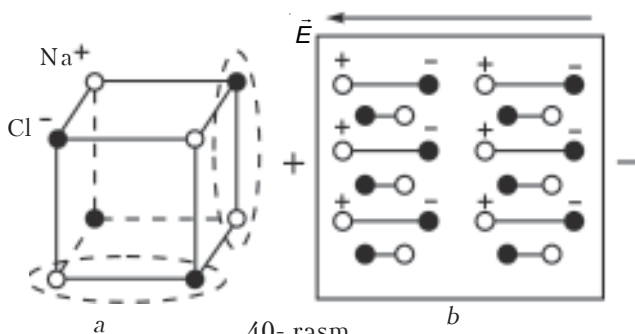
39- rasm.

Qutbli dielektrlarning qutblanishi dipolli qutblanish bo'ladi.

Agar qutbsiz dielektrik elektr maydonga kiritilsa, dielektrlardagi molekullarning musbat zaryadlar markazi va manfiy zaryadlar markazi o'zaro qarama-qarshi tomonga siljiydi va molekullar dipollarga aylanadi (38- rasm), ya'ni bu xil dielektrlar ham qutblanadi. Bunday qutblanish elektron qutblanish deyiladi.

Tashqi maydon qancha kuchli bo'lsa, molekullarning musbat zaryadlar markazi va manfiy zaryadlar markazi kuch chiziq lari bo'ylab bir-biridan shuncha ko'proq uzoqlashadi. Natijada, qutblangan dielektrik sirtining bir tomonida ortiqcha musbat zaryadlar, ikkinchi tomonida esa manfiy zaryadlar bo'ladi (37- b rasmga qarang). Bu zaryadlar bog'langan zaryadlar deyiladi. Bog'langan zaryadlar hosil qilgan maydon tashqi maydon yo'nalishiga qarshi yo'nalgan bo'ladi (39- rasm) va uni susaytiradi, lekin batamom yo'qotib yubormaydi.

Ion panjarali kristall dielektrlardan biri NaCl ning kristall panjarasi 40- a rasmda tasvirlangan: panjara tugunlarida Na^+ va Cl^- ionlar joylashgan. Turli ishorali qo'shni ionlarning har bir jufti elektr dipolga o'xshaydi. Elektr maydonda bu dipollar defor-



40- rasm.

matsiyalanadi: agar ularning dipol momentlari maydon bo‘ylab yo‘nalgan bo‘lsa, o‘qlari uzayadi, momentlari maydonga qarshi yo‘nalgan bo‘lsa, o‘qlari qisqaradi (40- b rasm). Natijada dielektrik qutblanadi. Dielektrikning bunday qutblanishi ionli qutblanish deyiladi.

Yuqorida aytilganlardan ko‘rinadiki, barcha turdagi dielektriklarning qutblanishi tashqi maydonni susaytiradi. Tashqi (vakuumdagi) elektr maydon kuchlanganligini E_0 bilan, dielektrik (muhit)ning xususiy elektr maydoni kuchlanganligini E' bilan belgilaylik. U holda dielektrik ichidagi natijaviy maydon kuchlanganligi $E = E_0 - E'$, demak, $E_0 > E$ bo‘ladi. Vakuumda joylashtirilgan biror q zaryadga $F_0 = qE_0$, muhitda joylashtirilgan xuddi shunday zaryadga $F = qE$ kuch ta’sir qiladi. Shu sababli, (3) formulaga ko‘ra,

$$\varepsilon = \frac{F_0}{F} = \frac{E_0}{E} \quad (31)$$

bo‘ladi. Demak, ε nisbiy dielektrik singdiruvchanlikning fizik mohiyati shundan iboratki, u dielektrikning elektr xususiyatlarini xarakterlaydigan fizik kattalik bo‘lib, dielektrik vakuumdagi elektr maydon kuchlanganligini necha marta kuchsizlantirishini ko‘rsatadi.

15- §. Segnetoelektriklar

Tajribalarda aniqlanishicha, bir qator kristall dielektriklar tashqi maydon bo‘lmaganda o‘z-o‘zidan (spontan) qutblanish xossasiga ega ekan. Bu hodisa dastlab segnet tuzi (vino kislotasining ikkilangan kaliy-natriy tuzi: $\text{NaKC}_4\text{H}_6\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) deb ataladigan kristallda aniqlangani uchun shu moddalarning barchasi **segnetoelektriklar** deb yuritiladi.

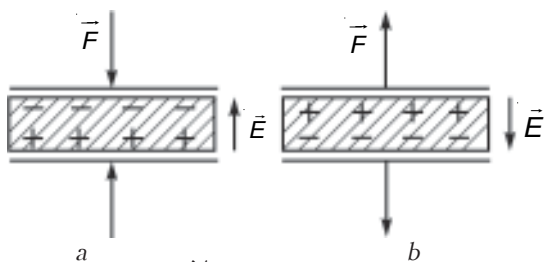
Segnetoelektriklar oddiy dielektriklardan bir qator xarakterli xossalari bilan farq qiladi. *Birinchidan*, oddiy dielektriklarda dielektrik singdiruvchanlik ε bir necha birlikka, ba’zilarida bir necha o‘nga (masalan, suv uchun $\varepsilon = 81$) teng bo‘lgan vaqtda, segnetoelektriklarning dielektrik singdiruvchanligi bir necha mingga yetishi mumkin. Masalan, uy temperaturasida segnet tuzi uchun ε ning qiymati 10000 ga yaqin. *Ikkinchidan*, oddiy dielektriklarning har biri uchun dielektrik singdiruvchanlik muayyan bir qiymatga ega bo‘lgani holda segnetoelektriklarning dielektrik singdiruvchanligi tashqi maydon kuchlanganligiga bog‘liq bo‘ladi: maydon kuchlanganligi ortib borishi bilan ε ham ortib boradi. *Uchin-*

chidan, segnetoelektriklarning qutblanishi faqat tashqi maydon kuchlanganligiga bog‘liq bo‘lmay, balki yana segnetoelektrikning maydonga kiritishdan avvalgi holatiga ham bog‘liq bo‘ladi. Bu shunga olib keladiki, bunda tashqi maydon kuchlanganligi nolga teng bo‘lganda moddaning qutblanishi to‘la yo‘qolmaydi, q o l d i q q u t b l a n i s h yuzaga keladi. Qoldiq qutblanishni yo‘qotish uchun segnetoelektrikni qutblantiruvchi maydonga teskari yo‘nalishda bo‘lgan maydonga kiritish kerak.

Segnetoelektrik xossalari temperaturaga kuchli bog‘liq bo‘ladi. Har bir segnetoelektrik uchun shunday temperatura mavjudki, bu temperaturadan yuqoriroq temperaturada modda o‘zining segnetoelektrik xususiyatini yo‘qotadi va oddiy dielektrikka aylanadi. Bu temperaturani Kyuri nuqtasi deb ataladi. Masalan, segnetuzining ikkita Kyuri nuqtasi bor: -15°C va $+22,5^{\circ}\text{C}$. Bu temperaturalar bilan chegaralangan temperaturalar intervalidagina segnetuzi segnetoelektrik xususiyatga ega bo‘ladi. -15°C dan past va $+22,5^{\circ}\text{C}$ dan yuqori bo‘lgan temperaturalarda segnetuzining elektr xossalari oddiy dielektriklarnikidan farq qilmaydi. Segnetoelektriklardan amalda keng foydalaniladi. Xususan, ular katta sig‘imli ixcham kondensatorlar tayyorlashda ishlatiladi. Bunday kondensatorlar radiotexnik qurilmalarning vaznini va o‘lchamlarini kamaytirishga imkon beradi. Bariy metatitanati (BaTiO_2) kabi segnetoelektriklar ultratovush to‘lqinlarning generatori va qabul qilgichi sifatida keng qo‘llaniladi.

16- §. Pyezoelektrik effekt

Ba‘zi kristall dielektriklar mexanik deformatsiyalanganida ularning qutblanishi kuzatiladi. Masalan, ma‘lum yo‘nalish bo‘yicha qirqib olingan kristall plastinka siqilganda uning qarama-qarshi sirtlarida turli ishorali zaryadlar hosil bo‘ladi (41- a rasm) va plastinka ichida elektr maydon vujudga keladi. Plastinka cho‘zilganda esa uning



41- rasm.

qutblanishi va maydonning yoʻnalishi qarama-qarshisiga oʻzgaradi (41- b rasm). Bu hodisa pyezoelektrik effekt yoki qisqacha pyezoeffekt deb ataladi. Bunday effekt kuzatiladigan kristall dielektriklar pyezoelektriklar deyiladi. Kvars, turmalin, segnet tuzi, bariy metatitanati va boshqalar pyezoelektriklar qatoriga kiradi.

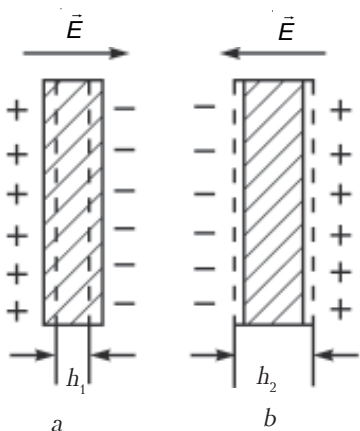
Pyezoelektrik qutblanishning kattaligi deformatsiyaga proporsional, demak, elastiklik chegaralarida mexanik kuchlanishga ham bogʻliq boʻladi.

Pyezoelektrik effektни quyidagicha tushuntirish mumkin. Har qanday kristall panjarasini turli atomlar yoki atomlarning guruhlariga tomonidan tuzilgan va bir-birining ichiga kiritilgan oddiy panjaralardan iborat deyish mumkin. Agar kristall simmetriya markaziga ega boʻlmasa, deformatsiya taʼsirida oddiy panjaralar bir-biriga nisbatan siljiydi va bunday siljish natijasida kristalda elektr momenti paydo boʻladi.

Pyezoelektriklarda kuzatiladigan bu effekt toʻgʻri pyezoeffekt deyiladi. Bundan tashqari, teskari pyezoeffekt ham kuzatiladi. Uning fizik mohiyati shundan iboratki, bunda kristall tashqi elektr maydoniga kiritilganda mexanik deformatsiyalanadi, oʻlchamlari maydon yoʻnalishi boʻyicha oʻzgaradi. Yuqorida aytib oʻtganimizdek, maʼlum yoʻnalish boʻyicha qirqib olingan kristall plastin-kani tashqi elektr maydonga kiritilganda siqilgan (yupqalashgan) boʻlsa (42- a rasm), maydon yoʻnalishi teskari tomonga oʻzgar-ganda plastinka choʻziladi (qalinlashadi) (42- b rasm).

Agar tashqi elektr maydon oʻzgaruvchan boʻlsa, u holda kristall plastinkaning siqilishi va choʻzilishi maydon oʻzgarishiga mos ravishda navbatma-navbat sodir boʻladi, kristalda mexanik tebranishlar uygʻotiladi.

Kvars, segnet tuzi, bariy metatitanati kabi kristallarning pyezoelektrik xossalaridan texnikada keng foydalaniladi. Masalan, bu dielektriklar elektroakustik asboblarda ishlatiladi. Elektroakustik asboblarda toʻgʻri pyezoeffekt asosida mexanik (tovush va ultratovush) tebranishlarni elektr tebranishlarga oʻzgartirib bersa, teskari pyezoeffekt asosida esa elektr



42- rasm.

tebranishlarni mexanik tebranishlarga o'zgartirib beradi. Bundan tashqari, pyezoelektrlardan elektr tebranishlar generatorlarining chastotalarini stabilashtirishda, tez o'zgaruvchan bosimlarni o'lchashda keng foydalaniladi.

17- §. Elektr sig'imi va uning birliklari

Elektr sig'imi tushunchasini aniqlab olish uchun quyidagi tajribaga murojaat qilamiz. Buning uchun elektrometr sterjeniga kovak metall shar o'rnatiladi va elektrometrning korpusi yerga ulanadi. Elektrofor mashinada zaryadlar hosil qilinib, uning konduktoriga sinash sharchasini izolatsiyalangan dastasidan ushlagan holda tekkizib olinadi, so'ngra bu zaryadlangan sharchani shar o'rnatilgan elektrometrga tekkiziladi (43- rasm). Sinash sharchasini zaryadlab, sharga bir necha marta ketma-ket tekkizganimizda, elektrometrga o'rnatilgan shardagi zaryad ko'payadi. Bu shardagi zaryad ko'paygan sari sharning potentsiali ham proporsional ravishda ortib borishini elektrometr strelkasining og'ishidan ko'ramiz.

Agar xuddi shunday tajribani birorta boshqa o'tkazgichda ham bajarib ko'rilsa, zaryad bilan o'tkazgichning potentsiali orasida yuqoridagidek bog'lanish borligini ko'rish mumkin. Bu tajribalardan ko'rinadiki, yakkalangan o'tkazgichning potentsiali o'tkazgichning zaryadiga to'g'ri proporsional ravishda o'zgarar ekan:

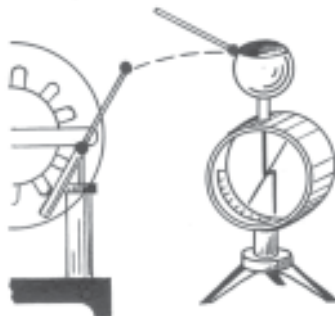
$$q = C\varphi, \quad (32)$$

bundan

$$C = \frac{q}{\varphi}. \quad (33)$$

Bunda C — proporsionallik koeffitsiyenti; u tashqi sharoitlarga, o'tkazgichning o'lchamlari va shakliga bog'liq bo'lgan fizik kattalik bo'lib, o'tkazgichning elektr sig'imi yoki sig'imi deyiladi. Demak, o'tkazgichning potentsialini bir birlikka o'zgartirish uchun kerak bo'lgan elektr miqdoriga son jihatidan teng bo'lgan kattalik elektr sig'imi deyiladi.

Agar bir xil sharoitdagi shakli bir xil, biroq kattaligi turlicha bo'lgan bir



43- rasm.

necha o'tkazgichlar, masalan, radiuslari har xil bo'lgan metall sharlarning har biriga bir xil miqdorda zaryad berib, ularning potentsiallari elektrometr bilan o'lchansa, radiusi kichik bo'lgan sharning potentsiali radiusi katta bo'lgan sharning potentsialidan katta bo'ladi. Haqiqatan ham, shunday bo'lishini formula orqali ham ko'rsatish mumkin. Bizga ma'lumki, sharning potentsiali

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r} \text{ edi. Buni (33) ga qo'ysak,}$$

$$C = 4\pi\epsilon_0 r \quad (34)$$

kelib chiqadi, ya'ni *sharning sig'imi uning o'lchamiga va shar joylashgan muhitning dielektrik singdiruvchanligiga bog'liq ekan.* (34) formula va tajribalar o'lchami bir xil bo'lgan, lekin turli moddalardan qilingan o'tkazgichlarning elektr sig'imi bir xil bo'lishini ko'rsatadi.

O'tkazgich atrofidagi jismlar shu o'tkazgichning sig'imiga katta ta'sir qiladi. Agar zaryadlangan sharni ikkala kaftimiz bilan, lekin kaftimizni sharga tekkizmasdan o'rab olsak, sharga ulangan elektrometr potentsialning kamayganligini ko'rsatadi. Sharda zaryad o'zgarmagan holda potentsialning bunday kamayishi sharning elektr sig'imi (33) formulaga asosan ortishini ko'rsatadi. Bunday bo'lishiga sabab — elektrostatik induksiya hodisasidir.

SI da elektr sig'imi birligi qilib farada (F) qabul qilingan. *O'tkazgichdagi elektr miqdori bir kulonga o'zgarganda potentsiali bir voltga o'zgaradigan o'tkazgichning elektr sig'imi bir farada deb qabul qilingan, ya'ni:*

$$[C] = \frac{[q]}{[\varphi]} = \frac{1C}{1V} = 1 \frac{C}{V} = 1F.$$

Farada elektr sig'imining juda katta birligi bo'lgani uchun ko'pincha elektr sig'imi mikrofarada va pikofaradlarda ifodalanadi. Faradaning milliondan bir qismi mikrofarada (μF) deb ataladi:

$$1\mu F = 10^{-6} F.$$

Mikrofaradaning milliondan bir qismi pikofarada (pF) deb ataladi:

$$1pF = 10^{-6} \mu F = 10^{-12} F.$$

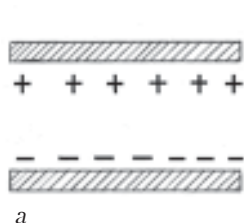
18- §. Kondensator va uning turlari

Elektrotexnika, ayniqsa, radiotexnika va televideniya o'zida ko'p zaryad yig'ib tura oladigan katta sig'imli asboblarning zarur bo'ladi. Ko'p miqdordagi elektr zaryadlarni yig'uvchi asboblarning kondensatorlar deb ataladi. Kondensator bir-biridan izolatsiya qilinib, teng miqdorda qarama-qarshi ishorali zaryadlar to'playdigan, o'zaro yaqin joylashtirilgan ikki o'tkazgichdan tashkil topgan.

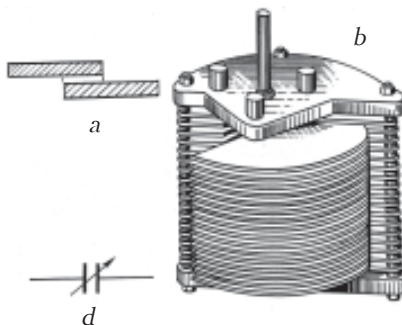
Kondensatorni hosil qilgan o'tkazgichlar kondensator qoplamalari deb ataladi.

Eng sodda kondensator yassi kondensator bo'lib, bir-biriga juda yaqin joylashtirilgan ikkita bir xil parallel metall plastinkadan iborat bo'ladi (44- a rasm). Kondensatorlar sxemalarda qanday belgilanishi 44- b rasmda tasvirlangan. Agar kondensator plastinkalari bir-biriga nisbatan surilsa (45- a rasm), uning elektr sig'imi o'zgaradi. Radiopriyomniklarni sozlashda keng qo'llaniladigan o'zgaruvchan sig'imli kondensatorlarning tuzilish va ishlash prinsipi shunga asoslangan bo'lib, unda izolator o'rnida ko'pincha havo bo'ladi. Bunday kondensatorlar bir-biridan izolatsiya qilingan metall plastinkalardan tashkil topgan bo'lib (45- b rasm), bir sistema plastinkalari qo'zg'almaydi, ikkinchi sistema plastinkalari esa o'q atrofida buriladi. Qo'zg'aluvchan sistemani burab plastinkalarning bir-birini qoplaydigan yuzasini o'zgartirib, kondensator sig'imini bir tekis o'zgartirish mumkin. 45- d rasmda o'zgaruvchan sig'imli kondensatorlarning elektr zanjirdagi shartli belgisi ko'rsatilgan.

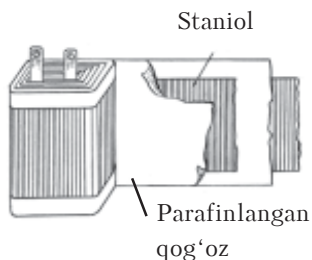
Odatdagi texnik kondensatorlar bir-biridan va metall korpusdan parafin shimdirilgan qog'oz tasmacha bilan izolatsiyalangan ikkita staniol tasmachadan iborat bo'ladi. Staniol tasmacha bilan qog'oz



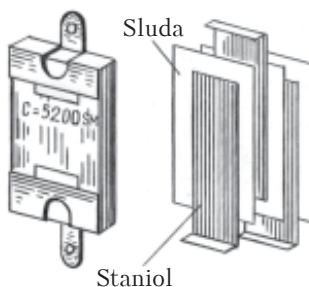
44- rasm.



45- rasm.



46- rasm.



47- rasm.

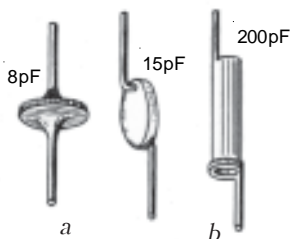
tasmacha kichikroq paket shaklida zich qilib o‘raladi. 46- rasmda texnik kondensatorning tashqi ko‘rinishi va ichki tuzilishi ko‘rsatilgan.

Bundan tashqari, sludadan qilingan kondensatorlar ham ishlatiladi. Bu kondensatorlarning qoplamalari qo‘rg‘oshin, qalay yoki aluminiy zardan qilinadi. 47- rasmda shunday kondensatorning tashqi ko‘rinishi va alohida qismlari ko‘rsatilgan.

Keramik kondensatorlarda (48- rasm) izolator maxsus keramikadan qilinadi. Keramik kondensatorlarning qoplamalari keramika sirtiga yugurtirilgan kumush qatlami bo‘lib, bu qatlamning ustiga lok surkalgan bo‘ladi.

Sig‘imi juda katta bo‘lgan kondensatorlardan biri elektrolitik kondensatorlardir (49- rasm). Bunday kondensatorning aluminiy qoplamalaridan biriga yugurtirilgan yupqa aluminiy oksidi dielektrik vazifasini bajaradi. Elektrolitik kondensatorning qoplamalari ikkita aluminiy tasmadan tayyorlanadi, bu aluminiy tasmalar orasiga elektrolit eritmasi shimdirilgan tola-tola qog‘oz qo‘yilib, spiral shaklida o‘raladi. Bunday kondensatorlar o‘zgarmas kuchlanishli qurilmalardagina ishlatilishi mumkin.

Kondensator qoplamalarida zaryad to‘plash jarayoni uni z a r y a d l a s h deyiladi. Kondensator zaryadlanganda uning ikkala



48- rasm.



49- rasm.

qoplamasida ishoralari har xil va miqdor jihatdan teng zaryad to'planadi. Kondensatorni zaryadlash uchun uning qoplamalaridan biri elektr manbaning musbat qutbiga, ikkinchisi esa manfiy qutbiga ulanadi. Manfiy qutb o'rniga qoplamalardan birini Yerga ulash ham mumkin. Zaryadlangan kondensatorning elektr maydoni uning qoplamalari orasidagi fazoda to'plangan bo'ladi, shuning uchun kondensatorning elektr sig'imi atrofidagi jismlarga bog'liq bo'lmaydi. Kondensator zaryadi deganda qoplamalardan biridagi zaryadning miqdori tushuniladi. *Kondensator zaryadining uning qoplamalari orasidagi potentsiallar farqiga nisbati bilan o'lchanadigan kattalik kondensatorning sig'imi deb ataladi:*

$$C = \frac{q}{\Delta\varphi}. \quad (35)$$

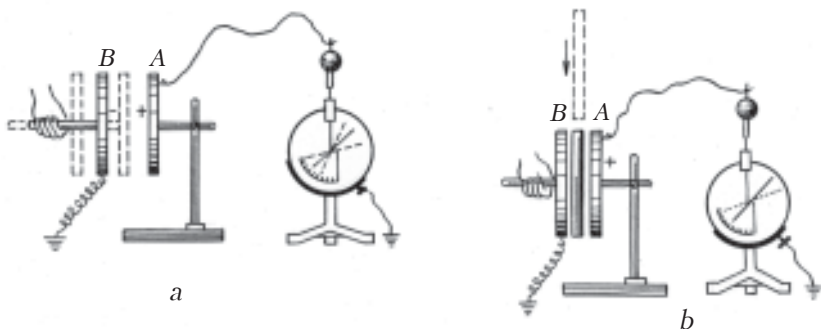
Agar kondensator qoplamalarini o'tkazgich orqali ulasak, zaryadlar uning bir qoplamasidan ikkinchi qoplamasiga o'tib, o'zaro neytrallanadi. Bu hodisa kondensatorni zaryadsizlantirish deyiladi.

Har bir kondensator muayyan potentsiallar farqiga mo'ljallangan bo'ladi. Agar kondensator qoplamalari orasidagi potentsiallar farqi juda ortib ketsa, kondensator bevosita dielektrik orqali zaryadsizlanishi mumkin, ya'ni dielektrik teshiladi. Teshikli kondensator keyingi qo'llanishlarga yaroqsiz bo'lib qoladi.

19- §. Yassi kondensator, sferik kondensator va sharning sig'imi

Yassi kondensatorning sig'imini hisoblaydigan formulani keltirib chiqaraylik. Kondensator har bir qoplamasining yuzini S bilan, ular orasidagi masofani d bilan belgilaymiz (44- a rasm). Sig'imni (35) formula orqali hisoblab topish uchun potentsiallar farqini zaryad miqdori orqali ifodalash kerak. Potentsiallar farqi maydonning kuchlanganligi bilan aniqlanadi, maydon kuchlanganligi esa kondensator qoplamalarining zaryadiga bog'liq. Plastinkalarning hosil qilgan maydon kuchlanganligi (16) formula bilan topiladi. $\sigma = \frac{q}{S}$ ekanligini e'tiborga olsak (bunda q – kondensator zaryadi, σ – zaryadlarning sirt zichligi), u holda maydon kuchlanganligi quyidagiga teng bo'ladi:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon\varepsilon_0} = \frac{q}{\varepsilon\varepsilon_0 S}. \quad (36)$$



50- rasm.

(36) ni (30) ga qo‘yib, kondensator qoplamalaridagi potentsiallar farqini topamiz:

$$\Delta\varphi = Ed = \frac{qd}{\varepsilon\varepsilon_0 S}. \quad (37)$$

(37) ni (35) ga qo‘yib, yassi kondensator sig‘imining SI dagi ifodasini topamiz:

$$C = \frac{q}{\Delta\varphi} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}. \quad (38)$$

Nazariy ravishda keltirib chiqarilgan (38) formulani tajribada tekshirib ko‘raylik. Buning uchun plastinkalari orasidagi masofani o‘zgartirish mumkin bo‘lgan kondensator va elektrometr olinadi (50- rasm). Kondensatorning bitta qoplamasi bilan elektrometrning korpusini yerga va uning sterjenini kondensatorning ikkinchi qoplamasiga ulab, kondensatorni zaryadlaymiz. Elektrometr plastinkalar orasidagi potentsiallar farqini ko‘rsatadi (50- a rasm). Plastinkalardan birini ikkinchisidan biroz uzoqlashtirsak, potentsiallar farqi oshganini ko‘ramiz (50- a rasmda punktir chiziqlar bilan tasvirlangan). Sig‘imning ta‘rifiga asosan, potentsiallar farqining ortishi (plastinkalar orasidagi masofa o‘zgarganda zaryad miqdori o‘zgarmaydi) sig‘imning kamayishini bildiradi. (38) formuladan ham shunday bo‘lishi ko‘rinadi.

Kondensator qoplamalari orasiga dielektrikdan yasalgan plastinka, masalan, shisha plastinka kiritsak, potentsiallar farqi kamayganini ko‘ramiz (50- b rasm). Demak, kondensatorning sig‘imi ortadi. Bu ham (38) formuladan ko‘rinib turibdi.

Shunday qilib, plastinkalar orasidagi masofani juda kichik qilib olish va dielektrik singdiruvchanligi ancha katta dielektrik tanlash bilan kondensatorning o‘lchamlarini kattalashtirmagan holda

sig'imini orttirish mumkin ekan. Shu sababli, nisbatan kichik potentsiallar farqida kondensatorlarda ko'p zaryad to'plash mumkin bo'ladi. Katta potentsiallar farqi hisobiga emas, balki katta sig'im hisobiga ko'p zaryad to'plash muhimdir. Chunki kuchli elektr maydonda dielektrik „teshilib“, kondensator ishdan chiqadi.

Endi sferik kondensatorning sig'im formulasini aniqlaylik. Sferik kondensator ikkita konsentrik sharsimon qoplamalardan tuzilgan bo'lib, qoplamalar bir-biridan dielektrik bilan ajratilgan (51- rasm). Tashqi qoplamani yerga ulab, ichki qoplamaga $+q$ zaryad bersak, tashqi qoplamada $-q$ zaryad hosil bo'ladi (induksiyanadi). Zaryadlarning elektr maydoni qoplamalar orasidagi fazoda mujassamlangan va xuddi sferaning markazida joylashgan nuqtaviy zaryadning maydoni kabi bo'ladi. Shuning uchun qoplamalarning potentsiali quyidagicha ifodalanadi:

$$\varphi_1 = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon r} \quad \text{va} \quad \varphi_2 = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon R},$$

bu yerda: ϵ – qoplamalar orasidagi muhitning dielektrik singdiruvchanligi, r va R lar mos ravishda ichki va tashqi sferalarning radiusi. Qoplamalardagi potentsiallar farqi

$$\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R} \right) = \frac{q(R-r)}{4\pi\epsilon_0\epsilon rR}$$

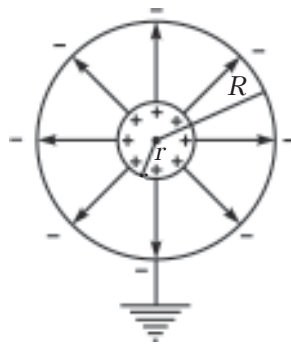
ga teng bo'ladi. $\Delta\varphi$ ning bu ifodasini (35) sig'im formulasiga keltirib qo'ysak, u holda sferik kondensatorning sig'imi formulasi

$$C = \frac{q}{\Delta\varphi} = \frac{4\pi\epsilon_0\epsilon Rr}{R-r} \quad (39)$$

ko'rinishda bo'ladi. Demak, *sferik kondensatorning sig'imi uning o'lchamlariga va dielektrikning turiga bog'liq ekan.*

Agar qoplamalar orasidagi masofa $d = R - r$ sferaning radiusiga nisbatan kichik [$d = (R - r) \ll r$] bo'lsa, u holda $R \approx r$ deb hisoblash mumkin. Ma'lumki, $4\pi r^2 = S$ – sferik qoplama sirtining yuzasi. Binobarin,

$$C = \frac{4\pi\epsilon_0\epsilon rR}{R-r} = \frac{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2}{d} = \frac{\epsilon_0\epsilon S}{d} \quad (40)$$



51- rasm.

bo'ladi. Shunday qilib, *sferik qoplamalarning orasidagi d masofa sferalarning radiusiga nisbatan juda kichik bo'lganda sferik kondensatorning sig'im formulasi yassi kondensatorning sig'im formulasi bilan mos tushar ekan.*

Sferik kondensatorning tashqi radiusi ichki radiusiga nisbatan juda katta ($R \gg r$) bo'lganda $R - r \approx R$ deb olish mumkin, u holda (39) formula ancha soddalashadi. Haqiqatan ham,

$$C = \frac{4\pi\epsilon_0\epsilon rR}{R-r} = \frac{4\pi\epsilon_0\epsilon rR}{R} = 4\pi\epsilon_0\epsilon r \quad (41)$$

bo'ladi. (41) formula r radiusli yakkalangan sharning elektr sig'imini ifodalaydi: *yakkalangan sharning elektr sig'imi uning radiusiga va qanday muhitda turganligiga bog'liq ekan.*

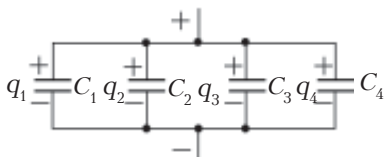
20- §. Kondensatorlarni ulash

Ko'pincha, ma'lum kattalikdagi sig'im hosil qilish uchun kondensatorlarni bir-biriga ulab, batareya tuziladi. Kondensatorlarni parallel va ketma-ket ulash mumkin.

I. Kondensatorlarning musbat zaryadlangan qoplamalarini bir o'tkazgich, manfiy zaryadlangan qoplamalarini ikkinchi o'tkazgich orqali ulash kondensatorlarni parallel ulash deyiladi (52- rasm). Parallel ulangan kondensatorlar batareyasiga $\Delta\phi$ potensiallar farqi berilganda, har bir kondensatoridagi potensiallar farqi ham $\Delta\phi$ ga teng bo'lib, zaryadlar mos holda q_1, q_2, q_3 va hokazo bo'ladi. Ko'rib turibmizki, kondensatorlarni parallel ulab, batareya hosil qilinganda, *barcha kondensatorlar qoplamasidagi potensiallar farqi bir xil bo'lib, ulardagi zaryad miqdori har xil qiymatga ega bo'lar ekan.* Ammo batareyaning zaryadi kondensatorlar zaryadlarining yig'indisiga teng bo'ladi:

$$q = q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n.$$

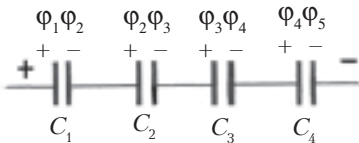
Batareyaning elektr sig'imi (35) formulaga binoan quyidagicha hisoblanadi:



$$C = \frac{q}{\Delta\phi} = \frac{q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n}{\Delta\phi} = \frac{q_1}{\Delta\phi} + \frac{q_2}{\Delta\phi} + \dots + \frac{q_n}{\Delta\phi},$$

52- rasm.

lekin $\frac{q}{\Delta\varphi} = C_1, \frac{q}{\Delta\varphi} = C_2, \dots, \frac{q}{\Delta\varphi} = C_n,$



demak,

53- rasm.

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n = \sum_{k=1}^n C_k \quad (42)$$

bo'ladi. *Parallel ulashda kondensatorlar batareyasining sig'imi alohida kondensatorlar sig'imlarining yig'indisiga teng bo'ladi.*

Kondensatorlar parallel ulanganda elektr sig'im ortadi va batareyaning sig'imi alohida olingan kondensatorlarning eng katta sig'imidan ham katta bo'ladi.

II. Bir kondensatorning manfiy zaryadlangan qoplamasini boshqa kondensatorning musbat zaryadlangan qoplamasiga ulash kondensatorlarni ketma-ket ulash deyiladi (53- rasm). Kondensatorlar ketma-ket ulanganda ikki qo'shni, masalan, birinchi va ikkinchi kondensatorning manfiy va musbat zaryadlangan qoplamlari ta'sir orqali zaryadlangan bitta o'tkazgichni tashkil qiladi, shuning uchun ularning potentsiali (φ) bir xil va ulardan biridagi manfiy zaryad ikkinchisidagi musbat zaryadga son jihatdan teng bo'ladi. Bundan *kondensatorlar ketma-ket ulanganda hamma kondensatorlarda zaryad birday ($q_1 = q_2 = \dots = q_n$) bo'ladi,* degan xulosa chiqadi. Batareyaning potentsiallar farqi alohida kondensatorlardagi potentsiallar farqlari yig'indisiga tengdir. Haqiqatan ham,

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

ammo $\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_n,$ demak, $\Delta\varphi_1 = \varphi_1 - \varphi_2, \Delta\varphi_2 = \varphi_2 - \varphi_3, \dots, \Delta\varphi_n = \varphi_{n-1} - \varphi_n$ ekanligidan $\Delta\varphi = \Delta\varphi_1 + \Delta\varphi_2 + \dots + \Delta\varphi_n$ bo'ladi.

$\Delta\varphi = \frac{q}{C}$ ekanligini e'tiborga olsak,

$$\frac{q}{C} = \frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_2} + \dots + \frac{q}{C_n}.$$

Tenglama q ga qisqartirilganda

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{C_k} \quad (43)$$

bo'ladi. Demak, *kondensatorlar ketma-ket ulanganda kondensatorlar batareyasi sig'imiga teskari bo'lgan kattalik alohida*

olingan kondensatorlar sig'implariga teskari bo'lgan kattaliklar yig'indisiga teng bo'ladi.

Ketma-ket ulashda batareyaning sig'imi alohida olingan kondensatorlarning eng kichik sig'imidan ham kichik bo'ladi.

21- §. Elektrostatik maydon energiyasi

Zaryadlangan har qanday o'tkazgich ma'lum energiyaga ega bo'ladi. O'tkazgich bu energiyani zaryadlanish jarayonida oladi. Zaryadsizlanish vaqtida esa o'tkazgich shu energiyani sarflaydi. Zaryadlangan o'tkazgich energiyasi o'tkazgichni zaryadlashda bajarilgan ishga teng bo'ladi, ya'ni:

$$W = A. \quad (44)$$

O'tkazgichni zaryadlashda bajarilgan ish:

$$A = q\varphi_{o'r} \quad (45)$$

bo'ladi. Bunda $\varphi_{o'r}$ — o'tkazgichni zaryadlash jarayonida uning potensialini noldan φ gacha tekis orttiruvchi potensialning o'rtacha qiymatidir, ya'ni:

$$\varphi_{o'r} = \frac{\varphi + 0}{2} = \frac{\varphi}{2}.$$

$\varphi_{o'r}$ ning qiymatini (45) ga qo'ysak va (44) ni hisobga olsak, zaryadlangan o'tkazgich energiyasi uchun quyidagi formulani hosil qilamiz:

$$W = \frac{q\varphi}{2}. \quad (46)$$

Agar zaryadlangan o'tkazgich o'rnida kondensator olsak, (46) formuladagi φ potensial kondensator qoplamalaridagi potentsiallar farqi bilan almashadi va zaryadlangan kodensatorning energiyasi quyidagi formuladan topiladi:

$$W = \frac{q\Delta\varphi}{2}. \quad (47)$$

Zaryadlangan kondensator uchun $q = C\Delta\varphi$ ekanligini hisobga olsak, (47) formula quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$W = \frac{C\Delta\varphi^2}{2}. \quad (48)$$

(48) formulaga yassi kondensator sig'imining va potentsiallar farqining maydon kuchlanganligi orqali (37) va (38) ifodalarini

qo‘ysak, kondensator energiyasi quyidagi formula orqali ifodalanadi:

$$W = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2} Sd. \quad (49)$$

(49) ni maydon egallab turgan $V = Sd$ kondensator hajmiga bo‘lib, birlik hajmga to‘g‘ri kelgan energiyani, ya‘ni energiya zichligini topamiz:

$$w = \frac{W}{V} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2}. \quad (50)$$

Hosil qilingan (50) formula yassi kondensatorning bir jinsli maydoni uchungina emas, balki har qanday elektrostatik maydon uchun ham energiya zichligidir. Shu bilan birga, energiya zichligining bu ifodasi o‘zgaruvchan elektr maydon uchun ham o‘rinli bo‘ladi.



Takrorlash uchun savollar

1. O‘tkazgichlar, dielektriklar va yarimo‘tkazgichlar nima? Ularga misollar keltiring. 2. Elektrostatik himoya deb nimaga aytiladi? 3. Elektrostatik induksiya hodisasi deb nimaga aytiladi? 4. Zaryadlangan o‘tkazgichda zaryadlar qanday taqsimlanadi? 5. Dipol deb nimaga aytiladi? Dipol momenti nima? 6. Dielektrikning qutblanishi deb nimaga aytiladi? Qanday qutblanishlarni bilasiz? 7. Ionli kristall dielektriklarning qutblanishini tushuntiring. 8. Segnetoelektriklar qanday moddalar? Ular haqida nimani bilasiz? 9. Pyezoeffekt qanday hodisa? Tushuntiring. 10. Teskari pyezoeffektni qanday yuzaga keltirish mumkin? 11. O‘tkazgichning elektr sig‘imi deb nimaga aytiladi? Uning birligi nima? 12. Kondensatorlar, ularning turlari va tuzilishini tushuntirib bering. 13. Kondensatorlarni parallel va ketma-ket ulash deb qanday ulashga aytiladi? Bu vaqtda sig‘im qanday bo‘ladi? 14. Zaryadlangan kondensator energiyasining formulasini keltirib chiqaring.



MASALA YECHISH NAMUNALARI

1- masala. Bir xil ishorali zaryad bilan zaryadlangan ikkita sharcha bir-birini tortishi mumkinmi?

Yechilishi. Agar bir xil ishorali zaryad bilan zaryadlangan sharlardan birining zaryadi ikkinchisidan katta bo‘lsa, u holda sharlar tortilishi mumkin. O‘tkazgich sirtida zaryadlarning induksiyalanishi natijasida zaryadi

kam bo'lgan o'tkazgichning tortishish kuchi itarishish kuchidan ortiq bo'ladi.

2- masala. Yakkalangan ichi bo'sh metall sharning markazida zaryad joylashtirilgan. Shardan tashqarida ipak ipga osilgan zaryadlangan yengil sharchani sharga yaqinlashtirsak, qanday hodisa ro'y beradi? Agar shar yerga ulansa-chi?

Yechilishi. Yengil sharcha muvozanat holatidan og'adi. Buni quyidagicha tushuntirish mumkin. Sharning markazida joylashgan zaryad ta'sirida sharning ichki va tashqi sirtlarining har birida shu zaryadning miqdoriga teng miqdorda elektr zaryadlar induksiyalanadi. Tashqi sirtidagi zaryad shar markazidagi zaryadning ishorasi bilan bir xil ishorali, ichki sirtidagi zaryad esa qarama-qarshi ishorali bo'ladi. Shardan tashqarida shar markazidagi zaryad bilan sharning ichki sirtida induksiyalangan zaryadning birgalikdagi ta'siri nolga teng bo'ladi. Ammo tashqi sirtida induksiyalangan zaryadning ta'siri qoladi. Bu zaryadning ta'siri xuddi sharning markazida joylashgan shunday zaryadning ta'siri kabi bo'ladi. Shuning uchun ichi bo'sh sharning bor yoki yo'qligining ahamiyati bo'lmaydi. Demak, sharning tashqi sirtidagi zaryad yengil sharchadagi zaryad bilan bir xil ishorali bo'lsa, sharcha shardan itariladi va, aksincha, har xil ishorali bo'lsa, sharcha sharga tortiladi.

Agar shar yerga ulansa, u holda uning tashqi sirtida zaryad bo'lmaydi, demak, shardan tashqarida maydon ham bo'lmaydi. Binobarin, yengil sharcha muvozanat holatdan chetga og'maydi.

3- masala. Sig'imlari 4 pF va 6 pF bo'lgan ikkita shar mos ravishda $2 \cdot 10^{-7}$ C va $1 \cdot 10^{-7}$ C zaryad bilan zaryadlanib, bir-biriga tekkizilgan. Shundan keyin sharlardagi zaryadlar qanday taqsimlangan?

Berilgan: $C_1 = 4\text{pF} = 4 \cdot 10^{-12}$ F; $C_2 = 6\text{pF} = 6 \cdot 10^{-12}$ F;

$$\frac{q_1 = 2 \cdot 10^{-7} \text{ C}; \quad q_2 = 1 \cdot 10^{-7} \text{ C.}}{q_1 - ?, \quad q_2 - ?}$$

Yechilishi. Sharlar bir-biriga tekkizilgandan keyin ularning zaryadlari mos ravishda q'_1 va q'_2 , potentsiallari esa ϕ'_1 va ϕ'_2 bo'ladi. Zaryadning saqlanish qonuniga asosan, $q_1 + q_2 = q'_1 + q'_2$, bundan $q'_2 = q_1 + q_2 - q'_1$.

Sharlar bir-biriga tekkizilgandan keyin ularning potentsiallari $\phi'_1 = \phi'_2$ bo'ladi, ya'ni

$$\frac{q'_1}{C_1} = \frac{q'_2}{C_2}.$$

q'_2 ning qiymatini bunga qo'ysak, $\frac{q'_1}{C_1} = \frac{q_1 + q_2 - q'_1}{C_2}$ dan

$$q'_1 = \frac{C_1(q_1 + q_2)}{C_1 + C_2}.$$

U vaqtda $q'_2 = q_1 + q_2 - \frac{C_1(q_1 + q_2)}{C_1 + C_2}$ bo'ladi.

$$\text{Hisoblash: } q'_1 = \frac{4 \cdot 10^{-12} \text{ F}(2 \cdot 10^{-7} + 1 \cdot 10^{-7}) \text{ C}}{(4 \cdot 10^{-12} + 6 \cdot 10^{-12}) \text{ F}} = \frac{12 \cdot 10^{-7}}{10} \text{ C} = 1,2 \cdot 10^{-7} \text{ C},$$

$$q'_2 = (2 \cdot 10^{-7} + 1 \cdot 10^{-7} - 1,2 \cdot 10^{-7}) \text{ C} = 1,8 \cdot 10^{-7} \text{ C}.$$

4- masala. Yassi kondensator qoplamalarining yuzi 2000 sm^2 , ular orasidagi masofa $0,5 \text{ mm}$. Qoplamalar orasida qalinligi $0,3 \text{ mm}$ bo'lgan sluda plastinka ($\varepsilon = 7$) bor, qolgan qismi esa havo bilan to'lgan. Kondensator qoplamalariga 220 V potentsiallar farqi berilgan bo'lsa, kondensatorning zaryadini toping.

Berilgan: $S_1 = 2000 \text{ sm}^2 = 0,2 \text{ m}^2$; $d = 0,5 \text{ mm} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ m}$;

$$\frac{d_1 = 0,3 \text{ mm} = 3 \cdot 10^{-4} \text{ m}; \quad \varepsilon = 7; \quad \Delta\varphi = 220 \text{ V.}}{q - ?}$$

Yechilishi. Kondensatorning zaryadi $q = C\Delta\varphi$ formuladan topiladi. C sig'imni ikkita ketma-ket ulangan C_1 va C_2 kondensatorlarning (54- rasm) sig'imi kabi qarash mumkin, ya'ni

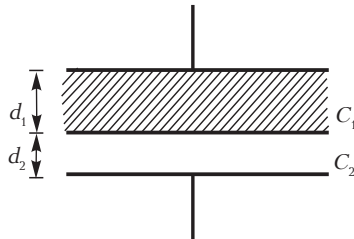
$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \quad \text{yoki} \quad C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}, \quad \text{bunda}$$

$$C_1 = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d_1}; \quad C_2 = \frac{\varepsilon_0 S}{d_2}; \quad d_2 = d - d_1.$$

Umumiy sig'im $C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d_1 + \varepsilon d_2}$ bo'ladi.

C ning qiymatini $q = C\Delta\varphi$ ga qo'yamiz:

$$q = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S \Delta\varphi}{d_1 + \varepsilon d_2} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S \Delta\varphi}{d_1 + \varepsilon(d - d_1)}.$$



54- rasm.

$$\text{Hisoblash: } q = \frac{7 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}} \cdot 0,2 \text{m}^2 \cdot 220\text{V}}{3 \cdot 10^{-4} \text{m} + 7 \cdot 2 \cdot 10^{-4} \text{m}} \approx 1,6 \cdot 10^{-6} \text{C}.$$

5- masala. Yassi kondensator qoplamalari orasidagi potentsiallar farqi 220V. Har bir qoplamaning yuzi 190 sm² va zaryadi $2 \cdot 10^{-9} \text{C}$ bo'lsa, kondensatorning energiyasini va qoplamalar orasidagi masofani toping.

$$\text{Berilgan: } \Delta\varphi = 220 \text{V}; \quad S = 190 \text{sm}^2 = 1,9 \cdot 10^{-2} \text{m}^2;$$

$$q = 2 \cdot 10^{-9} \text{C}; \quad \varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}}.$$

$$W - ?, \quad d - ?$$

Yechilishi. Kondensatorning energiyasi $W = \frac{q\Delta\varphi}{2}$ formuladan aniqlanadi.

Kondensator qoplamalari orasidagi masofa yassi kondensator formulasidan topiladi:

$$C = \frac{\varepsilon_0 S}{d} \quad \text{dan} \quad d = \frac{\varepsilon_0 S}{C} = \frac{\varepsilon_0 S \Delta\varphi}{q}.$$

$$\text{Hisoblash: } W = \frac{2 \cdot 10^{-9} \text{C} \cdot 220\text{V}}{2} = 2,2 \cdot 10^{-7} \text{J}.$$

$$d = \frac{8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}} \cdot 1,9 \cdot 10^{-2} \text{m}^2 \cdot 220\text{V}}{2 \cdot 10^{-9} \text{C}} = 1,8 \cdot 10^{-2} \text{m}.$$



MUSTAQIL YECHISH UCHUN MASALALAR

19. Zaryadlangan elektroskopning sharchasiga, unga tekkizmagan holda, zaryadlanmagan metall buyum yaqinlashtirilgan. Elektroskop yaproqchalarining og'ishi qanday o'zgaradi? Nima uchun? Tushuntiring.

20. Ipak ipga osilgan zaryadlangan buyumga qo'lni yaqinlashtirsak, u qo'lga tortiladi. Nima uchun shunday bo'ladi?

21. Zaryadlangan tayoqchani navbat bilan: a) shisha plastinka ustida yotgan paxta bo'lagiga; b) yog'och stol ustida yotgan ana shunday paxta bo'lagiga yaqinlashtiring. Nima uchun ikkinchi holda paxta bo'lagi tayoqchaga birinchi holdagiga nisbatan kuchliroq tortiladi?

22. Bir xil diametrli ikkita metall shar zaryadlangan. Sharlardan birining ichi bo'sh. Agar sharlar bir-biriga tekkizilsa, ular o'rtasida zaryad qanday taqsimlanadi?

23. Nima uchun zaryadlanmagan yengil sharcha ham manfiy, ham musbat zaryadlangan jismlarga tortiladi?

24. Metall o'tkazgich kerosinga tushirilgan va elektrofor mashina yordamida zaryadlangan. Shundan keyin izolator yordamida o'tkazgichni kerosindan olib, suvga tushirilganda o'tkazgichning elektr sig'imi o'zgaradimi?

25. Sig'imi 5 pF bo'lgan sharning radiusini toping.

26. Sig'imi 1400 pF va qoplamalarining yuzi 14 sm^2 bo'lgan sludali kondensatordagi sluda qalinligini aniqlang ($\epsilon = 6$).

27. Kondensator qismlarga ajratilganda u har birining yuzi 42 sm^2 dan bo'lgan 11 ta qoplamadan va qalinligi $25 \mu\text{m}$ bo'lgan 10 ta parafin ($\epsilon = 1,8$) shimdirilgan qog'ozdan tuzilganligi ma'lum bo'ldi. Kondensatorning sig'imini aniqlang.

28. Sig'imi 100 pF va 15 pF bo'lgan kondensatorlar parallel ulangan. Agar birinchi kondensatorning zaryadi $2 \cdot 10^{-8} \text{ C}$ bo'lsa, ikkinchisining zaryadi nimaga teng bo'ladi?

29. 160 V potentsiallar farqigacha zaryadlangan yassi kondensator kerosinga joylashtirilgan. Kondensatorning har bir qoplamasining yuzi 250 sm^2 , qoplamalar orasidagi masofa 1,2 mm. Kondensatorning energiyasini aniqlang ($\epsilon = 2$).

30. To'rtta bir xil kondensator o'zaro bir gal parallel, ikkinchi gal esa ketma-ket ulangan. Qaysi holatda bu guruh kondensatorlarning sig'imi ko'p bo'ladi va necha marta?

II bob. O'ZGARMAS TOK

22- §. Elektr toki, uning tabiati va ta'siri

Erkin elektr zaryadlarining tartibli (bir tomonga yo'nalgan) harakati elektr toki deb ataladi. Elektr toki paydo bo'lishi va doimo bo'lib turishi uchun *birinchidan*, moddada erkin elektr zaryadlari, *ikkinchidan*, ularni tartibli harakatga keltiruvchi elektr maydon, *uchinchidan*, zanjir berk bo'lishi kerak.

Metallarda erkin elektronlar erkin zarralar bo'lib hisoblanadi. Agar metall elektr maydonga kiritilsa, unda erkin elektronlar tartibsiz harakatlarini to'xtatmagan holda maydon ta'sirida tartibli harakat qila boshlaydi, natijada tok vujudga keladi. Metallar elektronli o'tkazgichlar yoki birinchi tur o'tkazgichlar, erkin elektronlar esa o'tkazuvchanlik elek-

tronlari deb ataladi. Birinchi tur o'tkazgichlardan tok o'tganda elektronlarning ko'chishi o'tkazgich tarkibida hech qanday kimyoviy o'zgarishlar hosil qilmaydi.

Suyuq eritmalarda, ya'ni elektrolitlarda elektr musbat va manfiy ionlarning tartibli harakati tufayli yuzaga keladi. Gazlarda esa elektr toki musbat va manfiy ionlar hamda elektronlarning tartibli harakati natijasida yuzaga keladi. Elektrolitlar ionli o'tkazuvchanlikka, gazlar ion-elektronli o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan o'tkazgichlar deb ataladi. Elektrolitlar bilan gazlar ikkinchi tur o'tkazgichlar deb ham ataladi. Ikkinchi tur o'tkazgichlardan tok o'tganda musbat va manfiy ionlarning harakati o'tkazgich tarkibida kimyoviy o'zgarishlar ro'y berishiga olib keladi.

Elektr toki borligini tok tufayli yuz beradigan quyidagi ta'sir yoki hodisalarga qarab bilish mumkin:

1) issiqlik ta'siri — tok o'tayotgan o'tkazgich qiziydi (masalan, isitkich asboblari, cho'g'lanma lampalar, issiqlik o'lchov asboblari);

2) kimyoviy ta'siri — elektr toki o'tkazgichning kimyoviy tarkibini o'zgartiradi (masalan, elektroliz hodisasi);

3) magnit ta'siri (masalan, tokli o'tkazgich yonida magnit strelkasining og'ishi, elektromagnitlar);

4) kuch ta'siri (masalan, magnit maydonda tokli simning og'ishi, elektrodvigatel);

5) yorug'lik ta'siri (masalan, siyraklangan gazlarda razryad, elektr yoyi).

23- §. Tok kuchi, tok zichligi va ularning birliklari

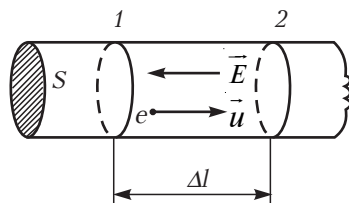
Elektr tokining yo'nalishi uchun hamma vaqt musbat zaryadlarning yo'nalishi qabul qilingan. Elektr toki tok kuchi va tok zichligi deb ataluvchi fizik kattaliklar bilan xarakterlanadi.

O'tkazgichning ko'ndalang kesimidan vaqt birligida oqib o'tadigan zaryad miqdori bilan o'lchanadigan kattalik tok kuchi deb ataladi. Agar Δt vaqt ichida o'tkazgichning ko'ndalang kesimi orqali q zaryad miqdori o'tsa, u holda, ta'rifga binoan,

$$I = \frac{q}{\Delta t} \quad (51)$$

kattalik tok kuchini ifodalaydi. Tok kuchi vaqt o'tishi bilan ham yo'nalish jihatdan, ham kattalik jihatdan o'zgarmasa, bunday tokni o'zgarmas tok deyiladi.

Tok kuchi skalar kattalik bo‘lib, u faqat berilgan yuzdan birlik vaqt davomida o‘tayotgan zaryad miqdori bilan aniqlanadi va zaryad tashuvchi zarralarning qaysi yo‘nalishda va yuzga nisbatan qanday burchak hosil qilib harakatlanayotganiga bog‘liq emas.



55- rasm.

Lekin ko‘p hollarda zaryadli zarralarning harakat yo‘nalishini bilish kerak bo‘ladi. Bu maqsadda tok zichligi vektori tushunchasidan foydalaniladi. Tok zichligi vektori \vec{i} deb, son jihatdan o‘tkazgichning birlik ko‘ndalang kesimidan o‘tuvchi tok kuchiga teng va yo‘nalish jihatdan musbat zaryadlarning harakat yo‘nalishi bilan bir xil bo‘lgan vektor kattalikka aytiladi.

Agar o‘tkazgich ichida zaryadlar harakati yo‘nalishiga tik bo‘lgan biror S yuzdan Δt vaqt davomida q zaryad o‘tayotgan bo‘lsa, u holda tok zichligi vektorining moduli

$$i = \frac{q}{S \cdot \Delta t} \quad (52)$$

ifodadan aniqlanadi. Shunday qilib, tok zichligi vektorining moduli zaryadlarning harakat yo‘nalishiga normal joylashgan birlik yuzdan birlik vaqtda o‘tgan zaryad miqdoriga teng ekan.

Endi tok kuchi bilan tok zichligi nimalarga bog‘liq ekanligini qarab chiqaylik. O‘tkazgichning ko‘ndalang kesimi S ga teng, deb faraz qilaylik (55- rasm). Aytaylik, tashqi elektr maydon kuchlanganligi o‘ngdan chap tomonga yo‘nalgan bo‘lsin, u holda elektronlar bu maydon ta‘sirida chapdan o‘ngga tomon harakatlanadi. Har bir zarraning zaryadi q_0 ga teng (elektronlar uchun $q_0 = e$). O‘tkazgichning 1 va 2 kesimlar bilan chegaralangan hajmida $nS\Delta l$ dona zaryadli zarra bo‘ladi, bu yerda n – zaryadli zarralar konsentratsiyasi. Ularning umumiy zaryadi $q = q_0 nS\Delta l$. Agar zarralar chapdan o‘ngga tomon o‘rtacha \bar{u} tezlik bilan harakat qilsa, u holda shu hajm ichidagi hamma zarralar $\Delta t = \frac{\Delta l}{\bar{u}}$ vaqt ichida 2 kesimdan o‘tadi. U vaqtda tok kuchi uchun

$$I = \frac{q}{\Delta t} = \frac{q_0 nS\Delta l}{\frac{\Delta l}{\bar{u}}} = q_0 nS\bar{u} \quad (52 a)$$

ifodaga ega bo‘lamiz.

Demak, tok kuchi har bir zarra olib o'tadigan zaryad kattaligiga, zarralar konsentratsiyasiga, ularning tartibli harakatining tezligiga va o'tkazgichning kesimi yuziga to'g'ri proporsional ekan.

Metallar tokni juda yaxshi o'tkazishiga asosiy sabab, ularda erkin elektronlar konsentratsiyasining kattaligidir. Aniqlanishicha, 1 m³ hajmdagi metallda taxminan 10²⁸ ÷ 10²⁹ ta erkin elektron bor ekan.

(52) va (52 a) formulalarga asosan, tok zichligi vektorining ifodasi quyidagicha ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\vec{j} = q_0 n \vec{u}, \quad (53)$$

bu yerda: q_0 – elektron zaryadi va u manfiy ishorali ($q = e < 0$), \vec{u} – elektronlarning tartibli harakat tezligi va u ham manfiy ($u < 0$), chunki \vec{E} maydon kuchlanganligining yo'nalishiga qarama-qarshi yo'nalgan (55- rasmga q.). Ammo $q_0 u$ ko'paytmaning ishorasi musbat bo'ladi, binobarin, tok zichligi vektorining yo'nalishi tok kuchi yo'nalishi kabi tashqi maydon (yoki musbat zaryadlar) yo'nalishi bilan bir xil bo'ladi.

SI da tok kuchi birligi qilib amper (A) qabul qilingan. Amper asosiy birlik bo'lib, uning ta'rifi bilan „Elektromagnetizm“ bo'limida tanishamiz.

Amalda tok kuchining amper birligidan tashqari, quyidagi birliklari ham qo'llaniladi: 1mA (milliamper) = 10⁻³A; 1μA (mikroamper) = 10⁻⁶ A.

Tok zichligining SI dagi birligi

$$[j] = \frac{[I]}{[S]} = 1 \frac{\text{A}}{\text{m}^2},$$

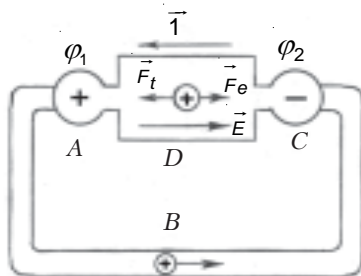
ya'ni bir metr kvadrat yuzdan bir amper tok kuchining o'tishi tok zichligi birligini ifodalaydi.

24- §. O'zgarmas tok manbalari. Elektr yurituvchi kuch

O'tkazgichda tok hosil qilish uchun o'tkazgichning ichida elektr maydon vujudga keltirish kerak. Buning uchun esa o'tkazgich uchlariga potentsiallar farqi berish va uni doimiy saqlash kerak bo'ladi. Bu maqsadda o'zgarmas tok manbalaridan foydalaniladi.

Har qanday tok manbayida ikkita – musbat (yuqori potentsialli) va manfiy (past potentsialli) qutblar bo'ladi. Tok hosil qilish uchun o'tkazgich – iste'molchi manba qutblariga ulanadi

(56- rasm). U vaqtda o'tkazgichning ichida elektr maydon vujudga keladi. Shu maydonning ta'sirida musbat zaryadlar ABC o'tkazgich bo'yicha manbaning musbat qutbidan manfiy qutbga ko'chadi. Biroq A va C nuqtalarning potentsiallari tez tenglashib qolishi natijasida bu ko'chish tezda to'xtaydi. Zaryadlarning ABC o'tkazgich bo'yicha ko'chishi davom



56- rasm.

etishi uchun A va C nuqtalar orasidagi potentsiallar farqining yo'qolishiga yo'l qo'ymay, uni hamma vaqt tiklab turish lozim. Buni musbat zaryadlarni C nuqtadan yana A nuqtaga ko'chirish bilan amalga oshirish mumkin. Ammo bunday harakat o'z-o'zidan bo'lmaydi, chunki elektr maydon kuchlari musbat zaryadlarga qarama-qarshi (ADC) yo'nalishda ta'sir etadi. Agar ADC qismda musbat zaryadlarga, elektr maydon bilan bir vaqtda, ularni C dan A ga tomon ko'chiradigan qandaydir tashqi maydon kuchlari ta'sir etsa, u vaqtda zaryadlar $ABCD$ berk yo'l bo'ylab uzluksiz harakatlanib turadi. Bunda A va C nuqtalar orasidagi potentsiallar farqi o'zgarishsiz qoladi. Demak, manbaning ichida tabiati bilan elektrostatik kuchlardan farqlanuvchi kuchlar mavjud bo'lishi kerak. Bu kuchlar t a s h q i k u c h l a r deyiladi.

Tashqi kuchlarning tabiati xilma-xil bo'lishi mumkin.

Zanjirning CDA qismida tashqi kuchlar biror tur energiya, masalan, mexanik yoki kimyoviy energiya hisobiga elektr maydonga qarshi ish bajarib, zaryadlarni C dan A ga ko'chirishi mumkin. ABC qismda zaryadlar (CDA qismda zaryadlarni ko'chirishda olingan energiya hisobiga ish bajaruvchi) elektr maydon ta'sirida harakatlanadi. Elektr maydon zaryadlarning zanjirning bir (CDA) qismida ko'chishida qancha energiya olsa, ikkinchi (ABC) qismda ularni ko'chirishda shuncha energiya yo'qotadi. Mana shu sharoitdagina berk zanjirda tok uzoq muddat mavjud bo'lishi mumkin. Barcha aytilganlar manfiy zaryadlarga ham tegishlidir. Ammo ularning harakati teskari yo'nalishda bo'ladi.

Tashqi kuchlarning ta'siri elektr yurituvchi kuch (EYK) deb ataladigan fizik kattalik bilan xarakterlanadi, u 1 bilan belgilanadi. Tok manbayining elektr maydon ta'sirida birlik musbat zaryadni berk zanjir bo'ylab ko'chirishda bajargan ishi bilan o'lchanuvchi kattalik shu manbaning elektr yurituvchi kuchi deb ataladi. Demak,

$$1 = \frac{A}{q} \quad (54)$$

bo'ladi, bunda A — zaryad q ni ko'chirishda bajarilgan ish. Tok manbayi EYK manbayi deb ham yuritiladi. SI da elektr yurituvchi kuch, potentsiallar farqi kabi, volt (V) bilan o'lchanadi:

$$[1] = \frac{[A]}{[q]} = \frac{1\text{J}}{1\text{C}} = 1\text{V}.$$

Odatda, berk elektr zanjirini bir-biridan butunlay farq qiluvchi ikki qismga — tashqi va ichki qismlarga ajratiladi. Zaryadlar elektr maydon hisobiga olgan energiyasinigina sarf etadigan zanjir qismiga zanjirning tashqi qismi deyiladi. Zaryadlar tashqi kuchlar ta'sirida elektr maydon kuchlariga qarshi harakatlanadigan qismi zanjirning ichki qismi deyiladi.

Zanjirning ichki qismi EYK manbayidan iborat ekanligi ravshan, zanjirning barcha qolgan qismi (o'tkazgichlar, elektr energiyasini iste'mol qiluvchilar, elektr o'lchov asboblari va h.k.) zanjirning tashqi qismi bo'ladi.

EYK manbayi muayyan turdagi energiyani elektr toki energiyasiga aylantiradi. Manba o'tkazgich uchlarida potentsiallar farqi hosil qiladi va uni quvvatlab turadi. Manba hech vaqt elektr zaryadlari hosil qilmaydi, u faqat zaryadlarni tartibli harakatga keltiradi, xolos. Elektr maydon ta'sirida zaryadlar butun tashqi zanjir bo'ylab ko'chadi, shuning uchun bu zanjirning istalgan qismida potentsiallar farqi mavjud bo'lishi kerak. Tashqi zanjirda nuqtadan nuqtaga potentsialning kamayishi *potensial pasayishi* deb ataladi.

Manbaning ichida EYK ning ta'siri elektr maydon yo'nalishiga teskari yo'nalishda bo'ladi, ya'ni manbaning manfiy qutbidan musbat qutbga tomon yo'nalgandir. Tashqi zanjir bo'lmaganda EYK son jihatdan ochiq manbaning qutblaridagi potentsiallar farqiga teng bo'ladi:

$$1 = \varphi_2 - \varphi_1.$$

Zanjirning istalgan qismidagi elektr yurituvchi kuch to'g'risida gapirish mumkin. Zanjir qismining EYK tashqi kuchlarning butun zanjirda emas, balki zanjirning aniq bir qismida birlik musbat zaryadni ko'chirishda bajargan ishidir.

Elektrostatik va tashqi kuchlarning birlik musbat zaryadni zanjirning aniq bir qismida ko'chirishda bajargan ishiga teng bo'lgan

kattalik zanjirning shu qismidagi kuchlanish tushuvi yoki kuchlanishi deyiladi va U harfi bilan belgilanadi.

Elektrostatik kuchlarning birlik musbat zaryadni ko'chirishda bajargan ishi potentsiallar farqiga, tashqi kuchlarning birlik musbat zaryadni ko'chirishda bajargan ishi esa elektr yurituvchi kuchga tengligidan kuchlanish

$$U = (\varphi_1 - \varphi_2) + 1 = -(\varphi_2 - \varphi_1) + 1 \quad (55)$$

formula bilan ifodalanadi. Agar $1 = 0$ bo'lsa, u holda

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 \quad (56)$$

bo'ladi, bundan zanjir qismida EYK manbayi bo'lmagan holdagina kuchlanish shu qism uchlaridagi potentsiallar farqiga teng bo'lishi kelib chiqadi. Shuning uchun, umumiy holda, zanjir qismidagi kuchlanishni uning uchlaridagi potentsiallar farqiga tenglashtirish (aynan bir xil kattalik deyish) to'g'ri bo'lmaydi.

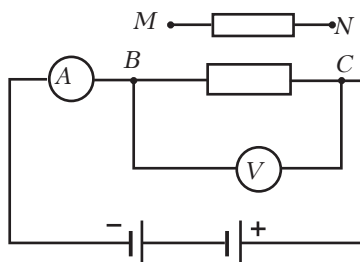
25- §. Zanjirning bir qismi uchun Om qonuni. Qarshilik

Zanjirning biror qismidan o'tayotgan tokning shu qismning uchlariga qo'yilgan potentsiallar farqi bilan qanday bog'lanishda bo'lishini aniqlash uchun 57- rasmda keltirilgan sxemaning BC uchlari oralig'iga o'tkazgich ulab, undan tok o'tkazaylik. Tok kuchini A ampermetr bilan, o'tkazgich uchlaridagi kuchlanishni V voltmetr bilan o'lchaymiz.

Agar zanjirga ulangan tok manbalarini o'zgartirsak, ham zanjirdagi tokning, ham o'tkazgich uchlaridagi kuchlanishning o'zgarganligini ko'ramiz. Bunda o'tkazgich uchlaridagi kuchlanish necha marta ortsa, tok kuchi ham shuncha marta ortadi. Boshqa MN o'tkazgich bilan tajribani takrorlaganda ham kuchlanish bilan tok kuchi o'zaro bog'liq holda, yuqorida aytilganidek, o'zgaradi. U vaqtda bu bog'lanishni quyidagicha ifodalash mumkin:

$$I = \Lambda U, \quad (57)$$

bu yerda Λ — o'tkazgichning xossasini xarakterlaydigan kattalik bo'lib, uning son qiymati kuchlanishga ham, tok kuchiga ham bog'liq emas. Bu kattalik o'tkazgichning elektr o'tkazuvchanligi deb ataladi.



57- rasm.

O'tkazgichning elektr o'tkazuvchanligiga teskari bo'lgan $R = \frac{1}{\Lambda}$ kattalik o'tkazgichning elektr qarshiligi deb ataladi. Bu ifodani e'tiborga olsak, (57) ifoda quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$I = \frac{U}{R}. \quad (58)$$

Bu ifodadan shunday xulosaga kelamiz: *zanjirning ma'lum bir qismidagi tok kuchi shu qismga qo'yilgan kuchlanishga to'g'ri proporsional va uning qarshiligiga teskari proporsionaldir*. Bu qonunni Om 1827- yilda tajribada kashf etdi, shuning uchun uni olim sharafiga zanjirning bir qismi uchun Om qonuni deb ataladi. Har bir o'tkazgich uchun undan o'tayotgan tok bilan kuchlanish orasida bir qiymatli bog'lanish mavjud: $I = f(U)$. Bunday bog'lanishni o'tkazgichning volt-ampere xarakteristikasi deyiladi. Zanjirning bir qismi uchun Om qonuni o'tkazgichdan o'tayotgan tok kuchi bilan uning uchlaridagi kuchlanish orasidagi chiziqli bog'lanishni ifodalaydi. 58- rasmda qarshiliklari R_1 va R_2 bo'lgan ikki o'tkazgichning volt-ampere xarakteristikalari tasvirlangan. Bu xarakteristika koordinata boshidan o'tuvchi to'g'ri chiziqdan iborat.

Om qonunidan foydalanib, quyidagi ifodani yozamiz:

$$U = IR. \quad (59)$$

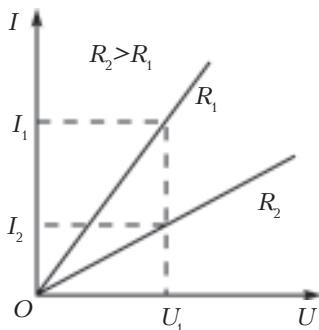
Zanjirning bir qismidagi kuchlanish uning qarshiligi bilan undan o'tuvchi tok kuchining ko'paytmasiga teng bo'lib, kuchlanish tushishi deb ataladi.

Kuchlanish bir xil bo'lgan vaqtda ikkita o'tkazgichdan qaysi biri o'zi orqali kuchsizroq tok o'tkazsa, shu o'tkazgichning qarshiligi kattaroq bo'ladi.

SI da qarshilik birligi qilib nemis fizigi Om sharafiga Ω qabul qilingan: (58) formuladan

$$[R] = \frac{[U]}{[I]} = \frac{1\text{B}}{1\text{A}} = 1\Omega.$$

O'tkazgichdan bir amper tok o'tganda o'tkazgichdagi kuchlanish tushishi bir volt bo'lsa, bunday o'tkazgichning qarshiligini bir Ω deb qabul qilingan.



58- rasm.

Amalda qarshilikning om dan tashqari quyidagi birliklari ham qo'llaniladi: $1 \text{ k}\Omega$ (kiloom) = $10^3 \Omega$; $1 \text{ M}\Omega$ (megaom) = $10^6 \Omega$.

Tok kuchini o'lchash uchun ishlatiladigan asbob — ampermetr zanjirga ketma-ket, kuchlanishni o'lchash uchun ishlatiladigan asbob — voltmetr esa kuchlanishi o'lchanayotgan zanjir qismiga parallel ulanadi. 59- rasmda eng oddiy elektr zanjirining sxemasi ko'rsatilgan.

26- §. O'tkazgichning qarshiligini hisoblash. Solishtirma qarshilik

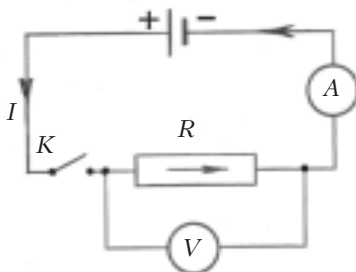
Turli moddalarning ichki tuzilishi bir-biridan farq qilgani uchun o'tkazgichning materiali qarshilikka ta'sir ko'rsatadi. 59-rasmda ko'rsatilgandek zanjir tuzamiz va ayni bir moddadan yasalgan bir xil ko'ndalang kesimli bir necha xil uzunlikda o'tkazgich olib, tajriba o'tkazamiz. Tajriba o'tkazgich qancha uzun bo'lsa, undan tok shuncha kam o'tishini ko'rsatadi. Demak, *o'tkazgich qancha uzun bo'lsa, uning qarshiligi shuncha katta bo'ladi.*

Ayni bir moddadan yasalgan bir xil uzunlikdagi, biroq ko'ndalang kesimi har xil bo'lgan o'tkazgichlar olib, tajriba o'tkazsak, yo'g'onroq o'tkazgichdan tok ko'proq o'tishini ko'ramiz. Bu *o'tkazgichning ko'ndalang kesimi ortishi bilan uning qarshiligi kamayishini ko'rsatadi.*

So'ngra bir xil o'lchamli, lekin turli moddalardan qilingan o'tkazgichlar olib, tajribani yana takrorlaymiz. Bunda turli o'tkazgichlardan o'tayotgan tok kuchi ham turlicha bo'lishini ko'ramiz. Bu esa qarshilik o'tkazgich moddasining turiga ham bog'liq ekanligini ko'rsatadi.

O'tkazgichlarning qarshiliklarini o'lchash natijasida shu narsa aniqlandiki, *o'zgarmas temperaturada silindrsimon va tasmason o'tkazgichlarning qarshiligi ularning uzunligiga to'g'ri proporsional, ko'ndalang kesim yuziga teskari proporsional bo'lib, o'tkazgich moddasining tabiatiga bog'liq bo'ladi.* O'tkazgich uzunligini l bilan, ko'ndalang kesim yuzini S bilan belgilasak, u holda qarshilik

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (60)$$



59- rasm.

formula orqali ifodalanadi, bunda ρ – moddaning elektr xossasi va temperaturasiga bog‘liq kattalik bo‘lib, uni solishtirma qarshilik deb ataladi. Bu formuladan o‘tkazgichning solishtirma qarshiligi uchun quyidagi ifodani yoza olamiz:

$$\rho = \frac{R \cdot S}{l}. \quad (61)$$

Agar $l = 1 \text{ m}$ va $S = 1 \text{ m}^2$ bo‘lsa, solishtirma qarshilik son jihatdan qarshilikka teng bo‘ladi.

SI da solishtirma qarshilik birligi Om · metr ($\Omega \cdot \text{m}$) qabul qilingan:

$$[\rho] = \frac{[R][S]}{[l]} = \frac{1 \Omega \cdot 1 \text{ m}^2}{1 \text{ m}} = 1 \Omega \cdot \text{m}.$$

Texnikada solishtirma qarshilik birligi qilib $1 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$ ishlatiladi.

Solishtirma qarshilikka teskari bo‘lgan kattalik moddalarning solishtirma elektr o‘tkazuvchanligi deb ataladi. Bu kattalik quyidagicha ifodalanadi:

$$\gamma = \frac{1}{\rho}. \quad (62)$$

Moddalarning solishtirma qarshiligi jadvallarda beriladi.

27- §. O‘tkazgich qarshiligining temperaturaga bog‘liqligi

Temperatura o‘zgarishi bilan o‘tkazgichning qarshiligi o‘zgaradi. Masalan, metall o‘tkazgichlarning qarshiligi temperatura ko‘tarilishi bilan ortib boradi. Buni quyidagicha tushuntirish mumkin: temperatura ortishi bilan kristall panjara tugunlarida joylashgan atomlar va ionlarning issiqlik tebranma harakati kuchayadi, natijada tebranish amplitudasi ortadi. Temperatura qancha yuqori ko‘tarilsa, elektronlarning atomlar va ionlar bilan o‘zaro to‘qnashishi ham shuncha tez-tez sodir bo‘ladi. Bundan tashqari, temperatura ortishi bilan elektronlarning tartibsiz harakati ham kuchayadi. Bularning hammasi o‘tkazuvchan elektronlarning tartibli harakatining susayishiga olib keladi, natijada tok kuchi kamayadi, qarshilik ortadi.

Konsentratsiyasi uncha yuqori bo‘lmagan elektrolitlarda temperatura ortishi bilan qarshilik kamayadi, chunki temperatura ortishi bilan eritmada erigan modda molekularining ionlarga

parchalanayotgan qismi ortadi, demak, zaryad tashuvchi zar-ralar — ionlar soni ham ortadi.

Yarimo‘tkazgichlar deb ataladigan germaniy, kremniy, selen va shu kabi bir qator moddalarning qarshiligi temperaturaga juda kuchli bog‘liq bo‘ladi: temperatura ortishi bilan ularning qarshiligi keskin kamayadi. Qarshilikning temperaturaga bunday kuchli bog‘liqligi temperatura ortishi bilan yarimo‘tkazgichlarda erkin elektronlar sonining keskin ortishi bilan tushuntirish mumkin.

Metall o‘tkazgichlarda qarshilikning temperaturaga qanday bog‘lanishda bo‘lishini o‘rganish maqsadida o‘tkazilgan tajribalarning natijasi shuni ko‘rsatadiki, *qarshilikning nisbiy o‘zgarishi temperaturaning o‘zgarishiga to‘g‘ri proporsional bo‘lar ekan*. Agar 0°C da o‘tkazgichning qarshiligi R_0 , $t^{\circ}\text{C}$ temperaturada

qarshilik R bo‘lsa, qarshilikning nisbiy o‘zgarishi $\frac{R-R_0}{R_0}$ bo‘ladi.

U holda, yuqorida aytib o‘tganimizdek,

$$\frac{R - R_0}{R_0} = \alpha t \quad (63)$$

bo‘ladi, bunda α proporsionallik koeffitsiyenti qarshilikning temperatura koeffitsiyenti deb ataladi. Bu koeffitsiyent modda qarshiligining temperaturaga bog‘liqligini xarakterlaydi. (63) formuladan

$$\alpha = \frac{R - R_0}{R_0 t}, \quad (64)$$

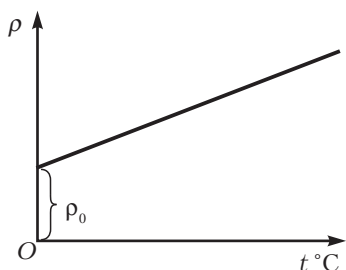
demak, *qarshilikning temperatura koeffitsiyenti o‘tkazgich temperaturasi bir gradusga o‘zgarganda qarshilikning nisbiy o‘zgarishiga teng bo‘ladi*. (64) formuladan α ning o‘lchov birligini topish mumkin:

$$[\alpha] = \frac{[R]}{[R][t^{\circ}]} = \frac{1 \Omega}{1 \Omega \cdot \text{K}} = 1\text{K}^{-1}.$$

(64) formulani quyidagicha o‘zgartirib yozamiz:

$$R = R_0(1 + \alpha t), \quad (65)$$

bu yerda $(1 + \alpha t)$ ifoda o‘tkazgich 0°C dan $t^{\circ}\text{C}$ gacha qiziganda uning qarshiligi qancha marta ortganini ko‘rsatadi va u termik qarshilik binomi deb ataladi. Shunday qilib, *qizigan o‘tkazgichning qarshiligi boshlang‘ich qarshilik bilan termik qarshilik binomi ko‘paytmasiga teng bo‘lar ekan*.



60- rasm.

Isitilganda o'tkazgichning geometrik o'lchamlari juda kam o'zgaradi. O'tkazgichning qarshiligi, asosan, solishtirma qarshilik o'zgarishi hisobiga o'zgaradi. Agar (65) formulaga $R = \rho \frac{l}{S}$ va $R_0 = \rho_0 \frac{l}{S}$ qiymatlarini qo'ysak, solishtirma qarshilikning temperaturaga bog'lanishi

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha t) \quad (66)$$

ko'rinishda bo'ladi, bu yerda ρ_0 temperatura 0°C bo'lgandagi solishtirma qarshilik. Shuni ham aytib o'tish lozimki, qarshilikning temperatura koeffitsiyentining o'zi ham temperaturaga bog'liq, lekin temperatura o'zgarganda α juda oz o'zgaradi, shuning uchun solishtirma qarshilikni temperaturaga chiziqli bog'liq (60- rasm) deb hisoblash mumkin. Lekin past temperaturalarda bu qonundan chetlanish kuzatiladi. Ko'pchilik hollarda ρ bilan T orasidagi bog'lanish 61- rasmda tasvirlangan 1 egri chiziq bo'yicha boradi. ρ_q qoldiq qarshilikning kattaligi materialning tozaligiga va undagi qoldiq mexanikaviy kuchlanishlarga kuchli bog'langan. Ideal to'g'ri panjaraga ega bo'lgan absolut toza metall uchun absolut nol temperaturada $\rho = 0$ bo'ladi.

Metallar qarshiligining temperaturaga bog'liqligidan turli o'lchov asboblarda va avtomatik sistemalarda foydalaniladi. Ulardan eng ahamiyatlisi qarshilik termometri hisoblanadi.

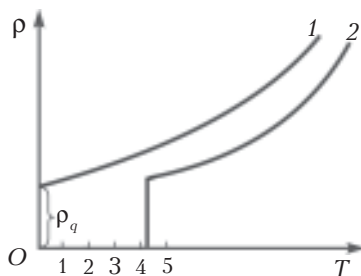
Qarshilik termometri chinni yoki sluda plastinkaga o'ralgan, turli temperaturalarda qarshiligi aniq ma'lum bo'lgan metall simdan iborat. Bunday sim sifatida, ko'pincha, toza platina, oltin, nikel, qo'rg'oshin va temir simlar ishlatiladi.

Qarshilik termometrlari temperaturani gradusning mingdan bir ulushlarigacha aniqlik bilan o'lchash imkonini beradi. Qarshilik termometrlari ko'pincha bir necha yuz gradus tartibidagi yuqori temperaturalarni o'lchash uchun qo'llaniladi. Lekin bu termometrlarning, ayniqsa, past temperaturalarni o'lchashda tengi yo'q.

28- §. O'ta o'tkazuvchanlik. O'ta o'tkazgichlar va ularning qo'llanilishi

Yuqorida ko'rib o'tganimizdek, metallarning elektr qarshiligi temperatura pasayganda bir tekis kamayib boradi (61- rasimga q., 1 egri chiziq). Lekin ba'zi metallarda (Kelvin shkalasi bo'yicha)

juda past temperaturalarda qarshilik birdaniga eng kamida o'nlar marta keskin kamayib ketadi, hatto amalda nolga teng bo'lib qoladi. Bu hodisani 1911- yili golland fizigi Kamerling-Onnes kashf qilgan va u o'ta o'tkazuvchanlik hodisasi deb ataladi. Kamerling-Onnes suyuq geliyda simobni sovutib, o'tkazuvchanligini o'rganayotganida simob sovishi bilan qarshiligi kamayib borishini va temperatura 4,2 K ga yetganda sakrab nolgacha tushganini payqagan (61- rasm, 2 egri chiziq). Keyinchalik o'ta o'tkazuvchanlik hodisasi qo'rg'oshin, qalay, rux, aluminiy va boshqa ko'pchilik metallarda, shuningdek, bir qator qotishmalarda qayd etildi.



61- rasm.

O'ta o'tkazuvchanlik xossasiga ega har bir modda uchun o'ziga xos bo'lgan o'ta o'tkazuvchanlik holatiga o'tish temperaturasi mavjud bo'lib, bu temperatura o'ta o'tkazgichga aylanish nuqtasi (yoki kritik temperatura) deb ataladi. O'ta o'tkazgichga aylanish nuqtasi Kelvin shkalasi bo'yicha kelvinning bir necha ulushidan bir necha kelvingacha bo'lgan oraliqda yotadi.

O'ta o'tkazgichlar nihoyatda ajoyib xossalarga ega bo'ladilar.

Birinchidan, o'ta o'tkazgichdan yasalgan berk halqada vujudga keltirilgan tok EYK manbaysiz yuzlab soat davomida oqib turishi mumkin. Bunga asosiy sabab, o'ta o'tkazuvchan holatda qarshilikning yo'qligi natijasida tokning so'nish vaqti juda katta bo'lishidir. Masalan, o'ta o'tkazuvchanlik holatiga o'tish temperaturasi 4,2 K bo'lgan simobda tok 96 soat davomida o'z qiymatining atigi 0,37 qismigacha kamayishi tajribada aniqlangan.

Ikkinchidan, magnit maydonning kuchlanganligi har bir o'ta o'tkazgich uchun tayinli bir (kritik) qiymatga yetguncha o'ta o'tkazgich ichida magnit maydon hosil qilib bo'lmaydi. Bunga asosiy sabab, tashqi magnit maydonning har qanday o'zgarishi natijasida o'ta o'tkazgichda induksiyalangan tok so'nmaydi, shuning uchun bu tokning magnit maydoni tashqi maydonning o'zgarishini hamma vaqt kompensatsiyalab turadi (91- § ga q.).

Uchinchidan, kuchli tashqi magnit maydoni yoki o'tkazgichdan oqayotgan tokning magnit maydoni o'ta o'tkazuvchanlik holatini buzadi — o'ta o'tkazgich oddiy o'tkazgichga aylanadi. O'ta o'tkazgichning temperaturasi o'ta o'tkazgichga aylanish nuqtasidan qancha

past bo'lsa, o'ta o'tkazuvchanlik holatini buzadigan magnit maydon (uni kritik maydon deb ham ataladi) shuncha kuchli bo'ladi. O'ta o'tkazgichga aylanish nuqtasida esa kritik maydon nolga teng bo'ladi.

Ingichka o'ta o'tkazgich simdan katta (minglarcha A/sm^2) zichlikdagi tok o'tkazilganda simning uchlarida hech qanday potensial tushishi sezilmaydi. Tokning hech qanday issiqlik ajratishi ham sezilmaydi, o'ta o'tkazgich qizimaydi.

O'ta o'tkazuvchanlik nazariyasi 1957- yilda amerikalik fiziklar Bardin, Kuper, Shrifertomonidan va batafsilroq 1958- yilda rus olimi N.N. Bogolubov tomonidan yaratildi. Bu nazariyaga ko'ra, o'ta o'tkazuvchanlik — elektronlarning bir-birlari va atomlar bilan to'qnashmasdan kristall panjara ichidagi harakatidir. Barcha o'tkazuvchanlik elektronlari o'zaro va panjara bilan ta'sirlashmasdan xuddi qovushoqsiz ideal suyuqlik oqimi kabi hech qanday ishqalanishsiz harakatlanadilar. Shuning uchun o'ta o'tkazgichning qarshiligi nolga teng bo'ladi. Kuchli magnit maydoni o'ta o'tkazgich ichiga kirib, elektronlarni o'z yo'nalishlaridan og'diradi va elektronlar oqimining „laminar oqishi“ni buzib, elektronlarning kristall panjara bilan to'qnashishini sodir qiladi, elektr qarshilikni ro'yobga chiqaradi.

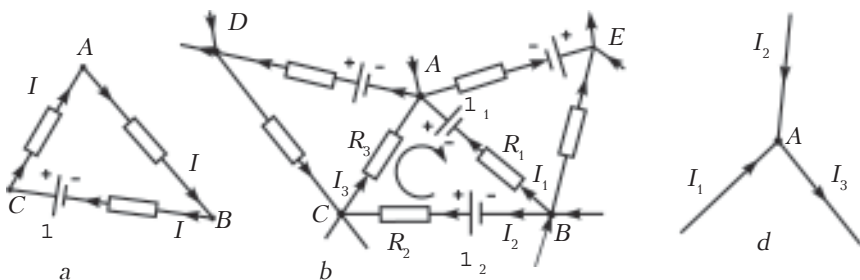
O'ta o'tkazuvchanlik nazariyasi juda yuqori, hatto xona temperaturasigacha yuqori kritik temperaturaga ega polimer o'ta o'tkazgichlarni, shuningdek, juda kuchli kritik magnit maydonli o'ta o'tkazgichlarni olish imkoniyati borligini ko'rsatadi.

O'ta o'tkazgichlar kuchli magnit maydonini hosil qiladigan o'ta o'tkazgich o'ramli elektromagnitlarda, elektron hisoblash mashinalarning xotira sistemalarini (xotira kriotron elementlarini) yaratishda va boshqa ko'p sohalarda qo'llaniladi.

29- §. Tarmoqlangan elektr zanjiri. Kirxgof qoidalari

Berk zanjir uchun Om qonunini ko'rganda biz faqat birgina berk konturdan iborat eng sodda elektr zanjiridan foydalandik (62-a rasm). Bunday zanjirlar tarmoqlanmagan zanjirlar deyiladi. Tarmoqlanmagan zanjirning barcha qismlarida tok kuchi bir xil bo'ladi. Bunday zanjirlardagi tok kuchini, EYK ni va qarshilikni Om qonunlaridan foydalanib oson hisoblash mumkin.

Radiotexnika, elektrotexnikada ancha murakkab elektr zanjirlaridan foydalaniladi. Ular umumiy qismini tashkil qilgan bir necha



62- rasm.

berk o'tkazuvchan konturlardan tarkib topgan bo'lib, har bir konturda bir necha tok manbasi bo'lishi mumkin. Bunday zanjirlarni tarmoqlangan zanjirlar deyiladi. 62- b rasmda shunday zanjirlardan birining bir qismi tasvirlangan, u ABC , ABE va ADC berk konturlardan tarkib topgan. Tarmoqlangan zanjir berk konturining alohida qismlarida tok kuchlari kattalik jihatdan ham, yo'nalish jihatdan ham turlicha bo'lishi mumkin.

Tarmoqlangan zanjirni 1847- yilda nemis fizigi G. Kirxgof tomonidan aniqlangan ikkita qoidani qo'llab hisoblash mumkin.

Kirxgofning birinchi qoidasi tarmoqlanish tugunlariga tegishli. *Zanjirning uchtadan kam bo'lmagan o'tkazgichlar birlashadigan nuqtalari tarmoqlanish tugunlari deyiladi.* (Masalan, 62- d rasmdagi A nuqta, 62- b rasmdagi A, B, C, D, E nuqtalar tarmoqlanish tugunlari hisoblanadi). Bunda tugunga keluvchi tokni musbat, tugundan ketayotgan tokni manfiy deb hisoblaymiz.

Kirxgofning birinchi qoidasiga ko'ra, *tarmoqlanish tugunida uchrashuvchi toklarning algebraik yig'indisi nolga teng:*

$$\sum I_k = 0. \quad (67)$$

Bu munosabat tok o'zgaras bo'lganda tugunda zaryadlarning to'planmasligini, ya'ni tugunga vaqt birligi ichida qancha elektr miqdori kirsam, shuncha elektr miqdori chiqishini bildiradi. Aks holda tugunda potensialning o'zgarishi va, demak, zanjirdan o'tuvchi toklarning o'zgarishi sodir bo'ladi. Bundan chiqadiki, zanjirda toklarning o'zgarasligi uchun (67) shart bajarilishi zarurdir. 62- d rasm asosida Kirxgofning birinchi qoidasi quyidagicha yoziladi:

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0. \quad (68)$$

Kirxgofning ikkinchi qoidasi tarmoqlangan zanjirning berk konturlariga tegishli. 62- b rasmdagi $ABCA$ konturni xayolan

ajratib olaylik va konturni soat mili yo'nalishida aylanishni musbat yo'nalish deb hisoblaylik (aylanish yo'nalishini tanlash ixtiyoriy). Yo'nalishi biz tanlagan yo'nalish bilan mos tushadigan tok kuchi va EYK ni musbat, teskari yo'nalishdagilarni manfiy deb hisoblaylik. A nuqtadagi potensialni φ_A , B nuqtadagini φ_B va C nuqtadagini φ_C bilan belgilaymiz. Konturning har bir AB , BC , CA tarmoqlanmagan qismlari uchun Om qonunini yozamiz:

$$AB \text{ qism uchun} \quad -I_1 R_1 = \varphi_B - \varphi_A - 1_1, \quad (a)$$

$$BC \text{ qism uchun} \quad I_2 R_2 = \varphi_B - \varphi_C + 1_2, \quad (b)$$

$$CA \text{ qism uchun} \quad I_3 R_3 = \varphi_C - \varphi_A. \quad (d)$$

(a) ifodaning ikkala tomonini (-1) ga ko'paytirib, uchala (a), (b) va (d) ifodalarni o'zaro hadma-had qo'shib chiqsak, potentsiallar qisqaradi va quyidagi

$$I_1 R_1 + I_2 R_2 + I_3 R_3 = 1_1 + 1_2 \text{ yoki } \sum I_k R_k = \sum 1_n \quad (69)$$

munosabatni hosil qilamiz. Bu munosabat Kirxgofning ikkinchi qoidasini ifodalaydi va u shunday ta'riflanadi:

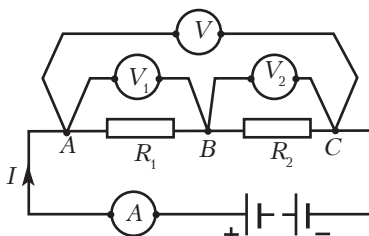
Tarmoqlangan zanjirning berk konturida uning qismlaridan oqayotgan tok kuchlarining tegishli qismlar qarshiliklariga ko'paytmasining algebraik yig'indisi konturdagi tok manbalari elektr yurituvchi kuchlarining algebraik yig'indisiga teng bo'ladi.

(69) munosabat bir necha tok manbalari bo'lgan tarmoqlangan zanjir konturi uchun Om qonunini umumlashtirishdir. Kirxgofning ikkinchi qoidasi tokning o'zgarasligi bilan bog'liq bo'lmagani uchun uni o'zgaruvchan tok zanjiriga ham tatbiq qilish mumkin.

30- §. O'tkazgichlarni ketma-ket va parallel ulash

Elektr zanjirlari, ko'pincha, bir necha qarshilikni turli usullar bilan ulab tuziladi. O'tkazgichlarni ulash turlarining eng soddasi va ko'p uchraydigani ketma-ket va parallel ulashdir.

1. O'tkazgichlarni ketma-ket ulash. Ketma-ket ulashda elektr zanjirida tarmoqlar bo'lmaydi. Hamma o'tkazgichlar zanjirga biri ketidan biri navbat bilan ulanadi, bunda hamma o'tkazgichlar orqali bir xil miqdorda tok o'tadi.



63- rasm.

Zanjirga R_1 va R_2 qarshiliklar ketma-ket ulangan va undagi tok kuchi I ga teng deylik (63- rasm).

Zanjirning AB , BC , AC qismlaridagi potensiallar farqini mos ravishda $\varphi_A - \varphi_B$, $\varphi_B - \varphi_C$ va $\varphi_A - \varphi_C$ deb belgilaymiz. AB va BC o'tkazgichlar uchun zanjirning bir qismiga oid Om qonunini tatbiq etamiz:

$$\left. \begin{aligned} \varphi_A - \varphi_B &= IR_1, \\ \varphi_B - \varphi_C &= IR_2. \end{aligned} \right\} \quad (a)$$

Bu tengliklarni hadma-had qo'shib, quyidagini hosil qilamiz:

$$\varphi_A - \varphi_C = I(R_1 + R_2).$$

Ikkinchi tomondan, AC qism uchun

$$\varphi_A - \varphi_C = IR,$$

deb yozishimiz mumkin, bunda R — ikkala o'tkazgichning umumiy qarshiligi.

Keyingi ikki tenglikdan

$$R = R_1 + R_2 \quad (70)$$

ekanligi kelib chiqadi. Shunday qilib, *ketma-ket ulangan o'tkazgichlardan tuzilgan zanjirning umumiy qarshiligi alohida-alohida o'tkazgichlar qarshiliklarining yig'indisiga teng*. Zanjirga xususiy holda n ta bir xil R_0 qarshilik ketma-ket ulanganda zanjirning umumiy qarshiligi

$$R = nR_0 \quad (71)$$

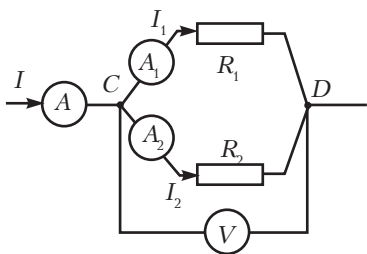
bo'ladi.

(a) formulalarning birinchisini ikkinchisiga hadma-had bo'lamiz, u holda $U_1 = \varphi_A - \varphi_B$, $U_2 = \varphi_B - \varphi_C$ ekanligini e'tiborga olib, quyidagi ifodalarga ega bo'lamiz:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}. \quad (72)$$

Bu ifodadan ko'rinadiki, *o'tkazgichlar ketma-ket ulanganda kuchlanish zanjirning alohida qismlarida shu qismlarning qarshiliklariga to'g'ri proporsional ravishda taqsimlanar ekan*.

2. O'tkazgichlarni parallel ulash. O'tkazgichlarni ularning bir uchlari bir nuqta (C tugun)ga, ikkinchi uchlari boshqa nuqta (D tugun)ga kelib qo'shiladigan qilib ulash o'tkazgichlarni



64- rasm.

parallel ulash deyiladi (64- rasm). O'tkazgich uchlarida potensial tushuvi bir xil bo'ladi. Zanjirdan o'tayotgan tok kuchini I bilan, R_1 va R_2 qarshiliklardan o'tayotgan tok kuchlarini mos ravishda I_1 va I_2 bilan belgilaymiz. Zaryadning saqlanish qonuniga asosan zanjirning tarmoqlanmagan qismidagi tok tarmoqlardagi toklar yig'indisiga teng bo'lishi kerak. Shuning uchun

$$I = I_1 + I_2$$

deb yozish o'rinli bo'ladi. Zanjirning bir qismiga oid Om qonuniga asosan:

$$I_1 = \frac{\varphi_C - \varphi_D}{R_1}; I_2 = \frac{\varphi_C - \varphi_D}{R_2}, \quad (b)$$

u holda

$$I = I_1 + I_2 = (\varphi_C - \varphi_D) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

bo'ladi. Ikkinchi tomondan, umumiy holda

$$I = (\varphi_C - \varphi_D) \frac{1}{R},$$

bunda R – zanjir qismining umumiy qarshiligi.

Keyingi ikki ifodani o'zaro taqqoslab,

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad \text{yoki} \quad \Lambda = \Lambda_1 + \Lambda_2 \quad (73)$$

ekanligini topamiz. Demak, *parallel ulangan o'tkazgichlardan iborat butun zanjirning elektr o'tkazuvchanligi ayrim o'tkazgichlarning elektr o'tkazuvchanliklari yig'indisiga tengdir.*

Agar n ta bir xil R_0 o'tkazgich o'zaro parallel ulangan bo'lsa, quyidagi tenglikni yozish mumkin:

$$\frac{1}{R} = \frac{n}{R_0} \quad \text{yoki} \quad R = \frac{R_0}{n}. \quad (74)$$

Demak, *teng qarshilikli n ta o'tkazgich o'zaro parallel ulangan zanjir qismining umumiy qarshiligi bitta o'tkazgich qarshiligidan n marta kichik bo'ladi.*

(b) tengliklarning birinчисini ikkinчисiga hadma-had bo'lib, quyidagini hosil qilamiz:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}. \quad (75)$$

Zanjirga parallel ulangan o'tkazgichlardan o'tayotgan tok bu o'tkazgichlarning qarshiliklariga teskari proporsional bo'ladi.



Takrorlash uchun savollar

1. Elektr toki deb nimaga aytiladi va uning hosil bo'lish shartlari qanday? 2. Tok kuchi deb qanday kattalikka aytiladi? Tok kuchi qanday birliklarda o'lchanadi? 3. Metallarda qanday zaryadli zarralarning tartibli harakati yuzaga kelganda tok hosil bo'ladi? Elektrolitlarda-chi? Gazlarda-chi? 4. O'zgarmas tok deb qanday tokka aytiladi? 5. Tok manbayining EYKi deb nimaga aytiladi? EYK qanday birlikda o'lchanadi? 6. Zanjirning bir qismiga oid Om qonunini ta'riflang. 7. O'tkazgichning elektr qarshiligini va o'tkazuvchanligini Siz qanday tushunasiz va u nimalarga bog'liq? 8. Solishtirma qarshilik deb nimaga aytiladi? Solishtirma o'tkazuvchanlik deb-chi? 9. Qarshilikning termik koeffitsiyenti deb nimaga aytiladi? Uning formulasini keltirib chiqaring. 10. O'ta o'tkazuvchanlik qanday hodisa? 11. O'ta o'tkazgichlar qanday xossalarga ega? 12. Tarmoqlanmagan va tarmoqlangan zanjir deganda Siz nimani tushunasiz? 13. Kirxgof qoidalarini ta'riflang va formulalarini yozing. 14. O'tkazgichlar ketma-ket va parallel ulanganda zanjir qismining qarshiligi nimaga teng bo'ladi? Formulasini keltirib chiqaring. 15. O'tkazgichlar ketma-ket ulanganda zanjirning umumiy kuchlanishi qanday taqsimlanadi? 16. O'tkazgichlar parallel ulanganda ularda tok qanday taqsimlanadi? 17. Elektr zanjiri qanday elementlardan tuzilgan? Eng oddiy elektr zanjirining sxemasini chizib bering.



MASALA YECHISH NAMUNALARI

1-masala. Biri misdan, ikkinchisi aluminiydan qilingan ikkita silindrik simning uzunligi l va qarshiligi R bir xil. Mis sim alyuminiy simdan necha marta og'ir?

Berilgan: $\rho_1 = 1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$; $\rho_2 = 2,5 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$;

$$d_1 = 8,6 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}; \quad d_2 = 2,6 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}; \quad l_1 = l_2 = l; \quad R_1 = R_2 = R.$$

$$\frac{P_1}{P_2} = ?$$

Yechilishi. O'tkazgich qarshiligini hisoblash formulalari $R = \rho_1 \frac{l}{S_1}$,

$R = \rho_2 \frac{l}{S_2}$ dan quyidagini topamiz: $\rho_1 \frac{l}{S_1} = \rho_2 \frac{l}{S_2}$; bundan

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{S_1}{S_2}. \quad (a)$$

Ikkinchi tomondan,

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{m_1 g}{m_2 g} = \frac{V_1 d_1}{V_2 d_2} = \frac{l S_1 d_1}{l S_2 d_2} = \frac{S_1 d_1}{S_2 d_2}. \quad (b)$$

(b) formulaga (a) dan $\frac{S_1}{S_2}$ ning qiymatini keltirib qo'yamiz, u holda

$\frac{P_1}{P_2} = \frac{\rho_1 d_1}{\rho_2 d_2}$ bo'ladi.

$$\text{Hisoblash: } \frac{P_1}{P_2} = \frac{1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m} \cdot 8,6 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{2,5 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m} \cdot 2,6 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 2,24.$$

2-masala. Elektr lampochkasidagi volfram tolasining qarshiligi 20°C temperaturada $35,8 \Omega$ ga teng. Agar lampochkani 120 V kuchlanishli tarmoqqa ulanganda toladan $0,33 \text{ A}$ tok oqib o'tsa, tolaning temperaturasini aniqlang.

Berilgan: $t_1 = 20^\circ\text{C}$; $R_1 = 35,8 \Omega$; $U = 120\text{V}$; $I = 0,33\text{A}$;

$$\alpha = 4,6 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}.$$

$$t_2 = ?$$

Yechilishi. Qarshilikning temperaturaga bog'lanish formulasi $R_2 = R_0 (1 + \alpha t_2)$ dan foydalanib, t_2 ni aniqlaymiz, bunda tolaning tok o'tayotgan vaqtdagi qarshiligi R_2 ni Ohm qonunidan foydalanib topamiz: $R_2 = \frac{U}{I}$.

R_0 qarshilikni ham qarshilikning temperaturaga bog'lanish formulasi bilan topamiz:

$$R_1 = R_0 (1 + \alpha t_1), \text{ bundan } R_0 = \frac{R_1}{1 + \alpha t_1}.$$

Shunday qilib, quyidagi ifodaga ega bo'lamiz:

$$\frac{U}{I} = \frac{R_1}{1 + \alpha t_1} (1 + \alpha t_2).$$

Bu ifodani t_2 ga nisbatan yechamiz:

$$t_2 = \frac{U(1 + \alpha t_1) - IR_1}{\alpha IR_1}.$$

$$\text{Hisoblash: } t_2 = \frac{120\text{V}(1 + 4,6 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1} \cdot 20^\circ \text{C}) - 0,33\text{A} \cdot 35,8 \Omega}{4,6 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1} \cdot 0,33\text{A} \cdot 35,8 \Omega} = 1935\text{K}.$$

3- masala. 1000 o‘ram mis sim o‘ralgan g‘altakka qanday kuchlanish berish mumkin? O‘ramning o‘rtacha diametri 6 sm. Ruxsat etilgan tok

zichligi $2 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$.

$$\text{Berilgan: } n = 1000; D = 6 \text{ sm} = 6 \cdot 10^{-2} \text{ m}; i = 2 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2} = 2 \cdot 10^6 \frac{\text{A}}{\text{m}^2};$$

$$\frac{\rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}}{U - ?}$$

Yechilishi. Zanjirning bir qismiga oid Om qonuniga muvofiq $U = IR$

bo‘ladi, biroq $I = iS$ va $R = \rho \frac{l}{S}$ bo‘lgani uchun

$$U = i \cdot S \cdot \rho \cdot \frac{l}{S} = i\rho l$$

bo‘ladi.

G‘altak diametri va o‘ramlar soni berilganligidan foydalanib, o‘tkazgichning uzunligini topamiz:

$$l = 2\pi \frac{D}{2} n = n\pi D.$$

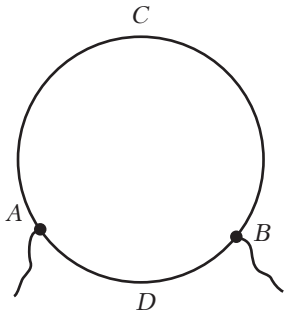
Bu ifodani yuqoridagi kuchlanish ifodasiga qo‘ysak, masalaning umumiy yechimi quyidagi formula orqali ifodalanadi:

$$U = i\rho n\pi D.$$

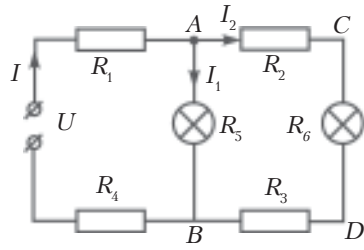
$$\text{Hisoblash: } U = 3,14 \cdot 6 \cdot 10^{-2} \text{ m} \cdot 1000 \cdot 1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m} \cdot 2 \cdot 10^6 \frac{\text{A}}{\text{m}^2} = 6,4 \text{ V}.$$

4- masala. Qarshiligi 10Ω bo‘lgan simdan halqa yasalgan (65- rasm). Hosil bo‘lgan zanjirning qarshiligi 1Ω bo‘lishi uchun tok keltiruvchi o‘tkazgichlarni halqaning qayerlariga ulash kerak?

$$\text{Berilgan: } \frac{R_1 = 10 \Omega; R_2 = 1\Omega}{R_3 - ? R_4 - ?}$$



65- rasm.



66- rasm.

Yechilishi. ACB tarmoqning qarshiligini R_3 bilan, ADB tarmoqning qarshiligini esa R_4 bilan belgilaymiz, u holda $R_4 = R_1 - R_3$ bo'ladi. Tarmoqlar o'zaro parallel ulangan bo'lgani uchun umumiy qarshilik R_2 quyidagiga teng bo'ladi:

$$\frac{1}{R_2} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_1 - R_3},$$

bundan R_3 ni topamiz:

$$R_3^2 - R_3 R_1 + R_2 R_1 = 0; \quad R_3 = \frac{R_1 \pm \sqrt{R_1^2 - 4R_2 R_1}}{2}.$$

$$\text{Hisoblash: } R_3 = \frac{10 \Omega \pm \sqrt{(100 - 4 \cdot 10 \cdot 1) \Omega^2}}{2} = \frac{10 \pm 7,75}{2} \Omega.$$

$$\text{a) } R_3 = \frac{10 + 7,75}{2} \Omega = 8,9 \Omega; \quad R_4 = (10 - 8,9) \Omega = 1,1 \Omega;$$

$$\text{b) } R_3^1 = \frac{10 - 7,75}{2} \Omega \approx 1,1 \Omega; \quad R_4^1 = (10 - 1,1) \Omega = 8,9 \Omega.$$

5- masala. 66- rasmda keltirilgan sxema bilan ulangan lampochkalarining qisqichlaridagi kuchlanishni toping. Bunda $U = 200 \text{ V}$, $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 4 \Omega$; $R_5 = R_6 = 10 \Omega$ deb hisoblang.

Berilgan: $U = 200 \text{ V}; R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 4 \Omega; R_5 = R_6 = 10 \Omega.$

$U_1 - ? \quad U_2 - ?$

Yechilishi. Zanjirning AB qismi o'zaro parallel ulangan ikki tarmoqdan iborat, shuning uchun zanjirning to'la qarshiligi

$$R = R_1 + R_4 + R_{AB},$$

bunda

$$\frac{1}{R_{AB}} = \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_2 + R_3 + R_6}$$

yoki

$$R_{AB} = \frac{(R_2 + R_3 + R_6)R_5}{R_2 + R_3 + R_5 + R_6} = 6,4 \Omega$$

bo'ladi. Zanjirning to'la qarshiligi

$$R = R_1 + R_4 + \frac{(R_2 + R_3 + R_6)R_5}{R_2 + R_3 + R_5 + R_6} = 14,4 \Omega.$$

Zanjirdan o'tayotgan to'la tok kuchi Om qonuniga muvofiq:

$$I = \frac{U}{R} = 13,9 \text{ A}.$$

Tarmoqlardagi tok kuchlarining nisbati ular qarshiliklarining nisbatiga teskari proporsionalligidan:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_{ACDB}}{R_5},$$

bunda: I_1 — zanjirning AB qismidan o'tayotgan tok kuchi, I_2 — zanjirning $ACDB$ qismidan o'tayotgan tok kuchi, biroq $I_2 = I - I_1$. Demak,

$$I_1 = I_2 \frac{R_{ACDB}}{R_5} = (I - I_1) \frac{R_{ACDB}}{R_5},$$

bundan I_1 ni topamiz ($R_{ACDB} = R_2 + R_3 + R_6$):

$$I_1 = I \frac{R_{ACDB}}{R_5 + R_{ACDB}} = I \frac{R_2 + R_3 + R_6}{R_5 + R_2 + R_3 + R_6} = 8,9 \text{ A}.$$

$$I_2 = I - I_1 = (13,9 - 8,9) \text{ A} = 5 \text{ A}.$$

Nihoyat, masalaning shartida so'ralayotgan kuchlanishlarni topamiz:

$$U_1 = I_1 R_5 = 8,9 \text{ A} \cdot 10 \Omega = 89 \text{ V}.$$

$$U_2 = I_2 R_6 = 5 \text{ A} \cdot 10 \Omega = 50 \text{ V}.$$



MUSTAQIL YECHISH UCHUN MASALALAR

31. Agar 5 s davomida 6,4 A tok o'tsa, shu vaqtning ichida o'tkazgichning ko'ndalang kesimidan qancha elektron o'tadi?

32. Qarshiligi 5Ω bo'lgan o'tkazgichning ko'ndalang kesimidan 1,5 min davomida 45 C zaryad miqdori o'tdi. Shu o'tkazgichning uchlaridagi kuchlanishni toping.

33. O'tkazgichning kesim yuzi 50 mm^2 , erkin elektronlar konsentratsiyasi $4 \cdot 10^{22} \text{ sm}^{-3}$ va undagi tok kuchi 3,2 A bo'lganda erkin elektronlar dreyfining o'rtacha tezligini toping.

34. Ko'ndalang kesim yuzi $0,5 \text{ mm}^2$ bo'lgan mis simining qarshiligi 9 Om ga teng bo'lishi uchun simning uzunligi qanday bo'lishi kerak? Misning solishtirma qarshiligi $1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$.

35. Qarshiligi $0,1 \Omega$ va massasi 54 g bo'lgan aluminiy simning uzunligini va ko'ndalang kesim yuzini toping. Aluminiyning solishtirma qarshiligi $2,8 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$, zichligi $2,7 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

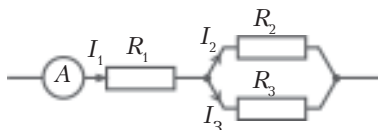
36. Uzunligi 5 m va ko'ndalang kesim yuzi $0,51 \text{ mm}^2$ bo'lgan mis sim 1,2 V kuchlanishli tarmoqqa ulangan. O'tkazgichning ko'ndalang kesimidan 1 s davomida qancha elektron o'tadi?

37. Elektr lampochkadagi volfram tolasining 0°C dagi qarshiligi 300Ω , lampochka yonganda uning qarshiligi 2400Ω bo'ladi. Tolaning cho'g'lanish temperaturasini aniqlang. Volfram uchun qarshilikning termik koeffitsiyenti $0,005 \text{ K}^{-1}$.

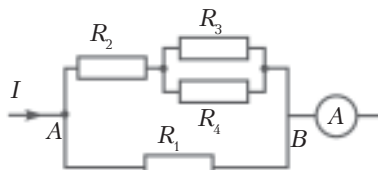
38. Zanjirga 20Ω , 5Ω va 35Ω qarshilikli o'tkazgichlar ketma-ket ulangan. Har bir o'tkazgich uchlaridagi kuchlanishni va ketma-ket ulangan bu o'tkazgichlardan iborat butun zanjirning umumiy qarshiligini toping. Zanjirdan o'tuvchi tok kuchini 2 A ga teng deb oling.

39. Ikkita o'tkazgich ketma-ket ulangan. Birinchi o'tkazgichning qarshiligi 6Ω . Agar zanjirdagi tok kuchi 5 A ga, ketma-ket ulangan ikki o'tkazgichdan iborat butun qism uchlaridagi kuchlanish 40 V ga teng bo'lsa, ikkinchi o'tkazgichning qarshiligi nimaga teng bo'lishini toping.

40. Qarshiliklari 2Ω , 4Ω , 6Ω va 8Ω bo'lgan to'rtta o'tkazgich parallel ulanib, kuchlanishi 4,8 V bo'lgan zanjirga qo'shilgan. Umumiy qarshilik va umumiy tok kuchini toping.



67- rasm.



68- rasm.

41. Qarshiligi 50Ω bo'lgan simni nechta teng qismlarga bo'lib parallel ulanganda umumiy qarshilik 2Ω bo'ladi?

42. Ampermetr 3 A tokni ko'rsatmoqda (67- rasm). Qarshiliklari $R_1 = R_3 = 4 \Omega$; $R_2 = 2 \Omega$ bo'lgan o'tkazgichlardagi kuchlanishni hamda R_1 va R_2 qarshiliklardagi tok kuchini toping.

43. Elektr zanjiriga to'rtta qarshilik ulangan (68- rasm): $R_1 = 30 \Omega$; $R_2 = 12 \Omega$; $R_3 = 40 \Omega$; $R_4 = 10 \Omega$. Ampermetr 2 A tokni ko'rsatmoqda. A va B nuqtalar orasidagi kuchlanishni va qarshiliklari R_1 va R_2 bo'lgan o'tkazgichlardagi tok kuchini toping.

31- §. Zanjirning bir jinsli bo'lmagan qismi uchun Om qonuni

Zanjirning bir jinsli bo'lmagan (tashqi kuchlar ham ta'sir etadigan) qismi uchun Om qonunining ifodasini hosil qilishda energiyaning saqlanish qonunidan foydalanamiz. Faraz qilaylik, zanjir qismining C va D uchlarida $\varphi_C - \varphi_D$ potentsiallar farqi mavjud bo'lsin (69- rasm). Zanjirning kuzatilayotgan qismidagi ta'sir etuvchi EYK ni 1 deb belgilaymiz. Ma'lum yo'nalishni, masalan, rasmda strelka bilan belgilangan C dan D ga tomon yo'nalishni tanlab olamiz. Agar tokning oqish yo'nalishi va EYK ning ta'sir yo'nalishi strelka yo'nalishi bilan mos tushsa, ularni musbat kattaliklar deb qabul qilamiz. Aks holda, ularni manfiy kattaliklar deb olamiz. Bizning misolimizda $I > 0$ va $1 > 0$.

Zanjirning CD qismida zaryadni ko'chirishda bajarilgan ish elektr kuchlarining bajargan ishi $q(\varphi_C - \varphi_D)$ bilan tashqi kuchlarning bajargan ishi $q1$ ning yig'indisiga teng bo'ladi:

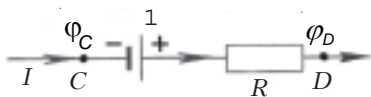
$$A = q(\varphi_C - \varphi_D) + 1 \cdot q, \quad (76)$$

bunda q — ko'chirilayotgan zaryad miqdori.

Agar zanjir qismini tashkil etuvchi o'tkazgichlar harakatsiz bo'lsa, zanjirdan tok o'tishining birdan bir natijasi o'tkazgichlarning qizishidan iborat bo'ladi. Shuning uchun elektrostatik va tashqi kuchlarning zaryadni ko'chirishda bajargan ishi shu o'tkazgichlarda ajralib chiqqan issiqlik miqdoriga teng bo'ladi. (76) formulani quyidagicha yoza olamiz:

$$\frac{A}{q} = (\varphi_C - \varphi_D) + 1. \quad (77)$$

Bu ifodaning o'ng tomonidagi yig'indi zanjirning CD qismidagi kuchlanishga teng [(55) formulaga q.].



69- rasm.

Zanjirning bir qismiga oid Om qonuniga binoan: $U = IR$, bunda I – zanjirning shu qismidan o‘tayotgan tok kuchi, R – qismning qarshiligi (EYK manbayining qarshiligi juda kichik bo‘ladi, shuning uchun uni e‘tiborga olmaymiz). Demak,

$$IR = (\varphi_C - \varphi_D) + 1, \text{ bundan } I = \frac{(\varphi_C - \varphi_D) + 1}{R}. \quad (78)$$

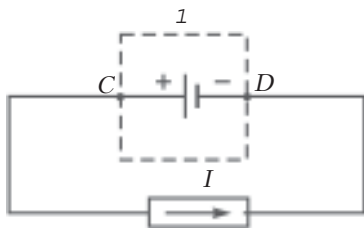
Shunday qilib, zanjirning bir jinsli bo‘lmagan qismidan o‘tayotgan tok kuchi qism uchlaridagi potentsiallar farqi bilan undagi manba EYK ning yig‘indisiga to‘g‘ri proporsional va bu qismning qarshiligiga teskari proporsionaldir.

(78) formulalar zanjirning bir jinsli bo‘lmagan qismi uchun Om qonunini ifodalaydi. Bu formulalar zanjirning bir qismi uchun Omning umumlashgan formulasi deb ham ataladi. $1 = 0$ da (78) formula zanjirning bir jinsli qismi uchun Om qonunining (58) ifodasiga o‘tadi.

32- §. Berk zanjir uchun Om qonuni

Tok manbasi va R qarshilikdan iborat eng sodda berk zanjirni ko‘rib chiqamiz (70- rasm). Tok manbayining qarshiligi ko‘pincha zanjirning tashqi qarshiligidan farq qilib, ichki qarshilik deb ataladi va r harfi bilan belgilanadi. Generatorda ichki qarshilik deganda chulg‘amlar qarshiligi, galvanik elementda elektrolit eritmasi va elektrodning qarshiligi tushuniladi.

Berk zanjirga oid Om qonuni zanjirdagi tok kuchi, manbaning EYK va zanjirning to‘la $(R + r)$ qarshiligi orasidagi bog‘lanishni ifodalaydi. Agar 70- rasmda ko‘rsatilgan EYK manbayiga zanjirning tashqi qismi ulansa, berk zanjirda tok hosil bo‘ladi. Berk zanjirning EYK faqat manba ichidagina ta’sir etadi. EYK ning qiymati zanjirdagi tok kattaligiga bog‘liq emas va ochiq manba qutblaridagi potentsiallar farqiga teng bo‘ladi.



70- rasm.

Zanjir ochiq bo‘lganda EYK manba qutblaridagi potentsiallar farqi bilan kompensatsiyalansa, zanjir berk bo‘lganda potentsiallar farqi pasayadi. Shuning uchun manba ichidagi tok kuchi zanjirning bir qismiga oid Om qonuniga muvofiq, quyidagicha ifodalanadi:

$$I = \frac{1 - U}{r}, \quad (79)$$

bunda U — zanjir berk bo'lganda manbaning C va D qutblaridagi kuchlanish. Zanjirning tashqi qismidagi tok kuchi esa

$$I = \frac{U}{R}$$

bo'ladi. Bu ikki tenglamadan U ni yo'qotib, zanjirdan o'tayotgan tok kuchi uchun quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$I = \frac{1}{R + r}. \quad (80)$$

Bu formula berk zanjir uchun Om qonunini ifodalaydi: *zanjirdagi tok kuchi manbaning elektr yurituvchi kuchiga to'g'ri va zanjirning to'la qarshiligiga teskari proporsional bo'ladi.*

(80) formuladan EYK ni topamiz:

$$1 = IR + Ir. \quad (81)$$

Manba qutblaridagi kuchlanishga teng bo'lgan IR ko'paytma zanjirning tashqi qismida birlik zaryadni ko'chirishda bajarilgan ish o'lchovi, Ir ko'paytma esa zanjirning ichki qismida birlik zaryadni ko'chirishda bajarilgan ish o'lchovi bo'lib hisoblanadi. Shuning uchun (81) formulaga asoslanib, EYK ga quyidagicha umumiy ta'rif berish mumkin:

birlik musbat zaryadni butun zanjir bo'yicha ko'chirishda bajarilgan ish bilan o'lchanadigan kattalik manbaning elektr yurituvchi kuchi deyiladi.

Zanjirdagi tok kuchi 1 , R va r ga bog'liq. Agar ichki qarshilik tashqi qarshilikka nisbatan juda kichik ($R \gg r$) bo'lsa, ichki qarshilik tok kuchiga sezilarli ta'sir ko'rsatmaydi. Bu holda manba qutblaridagi kuchlanish EYK ga taxminan teng bo'ladi.

Biroq, qisqa tutashuvda ($R \rightarrow 0$) zanjirdagi tok kuchi manbaning ichki qarshiligiga bog'liq bo'ladi va r juda kichik bo'lgan holda EYK bir necha volt chamasida bo'lganda ham tok kuchi juda ortib ketadi. Bunda simlar erib ketishi, manbaning o'zi buzilib qolishi mumkin. Shuning uchun elektr zanjirini yig'ish va, umuman, tok manbalari bilan ish ko'rganda qisqa tutashuvga juda ehtiyot bo'lish kerak.

33- §. Om qonunining differensial ko‘rinishi

Tok o‘tayotgan har qanday o‘tkazgichni tok nayi sifatida tasavvur qilish mumkin. Zanjirning bir qismi uchun Om qonuni (58) va o‘tkazgichning qarshiligi (60) formulasi simdan va, umuman, tok nayi (o‘tkazgich) o‘zgarmas kesimli silindr shakliga ega bo‘lgan hollarda oqayotgan tok kuchini aniqlash imkonini beradi. Lekin, ko‘pincha, tok nayi silindr shaklida bo‘lmagan o‘tkazuvchan muhitda tok kuchini aniqlashga to‘g‘ri keladi. Bunga, masalan, qoplamalari orasidagi fazo o‘tkazuvchan muhit bilan to‘ldirilgan sferasimon va silindrsimon kondensatorlar misol bo‘la oladi. Bunday holda (60) formulani qo‘llab bo‘lmaydi, chunki qoplamalar sirtidagi turli nuqtalar uchun l masofa turlicha, shuningdek, har bir qoplamaning S yuzasi ham turli kattalikka ega.

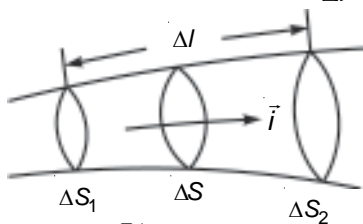
Ammo Om qonunini o‘tkazuvchan muhitlarda toklar bilan bog‘liq masalalar yechimi uchun qo‘llash mumkin bo‘lgan ko‘rinishga keltirish mumkin. Shu holni, ya‘ni, differensial ko‘rinishni qarab chiqamiz.

O‘tkazuvchan muhitda tok nayining Δl uzunlikdagi kichik bir bo‘lagini ko‘z oldimizga keltiraylik (71- rasm). Bo‘lak ΔS_1 va ΔS_2 kesimlar bilan chegaralangan bo‘lsin. Bu kesimlardagi potentsiallarni φ_1 va φ_2 bilan, kesim yuzasini o‘rtacha qiymatini ΔS bilan belgilaymiz. Bo‘lakka (58) Om qonunini va (60) qarshilik formulasini qo‘llaymiz. U holda tok kuchi

$$I = i \cdot \Delta S = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{\frac{\Delta l}{\rho}}$$

bo‘ladi. Ushbu ifodaning ikki tomonini ΔS ga qisqartirib va $\gamma = \frac{1}{\rho}$ solishtirma elektr o‘tkazuvchanlik ekanligini e‘tiborga olsak, u holda

$$i = \gamma \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{\Delta l} = -\gamma \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{\Delta l} = -\gamma \frac{\Delta \varphi}{\Delta l} \quad (82)$$



71- rasm.

bo‘ladi. E maydon kuchlanganligi bilan $\Delta \varphi$ potentsiallar farqi orasidagi

$-\frac{\Delta \varphi}{\Delta l} = E$ munosabatdan foydalanib, (82) ifodani quyidagicha ko‘rinishda yozamiz:

$$i = \gamma E \quad (83)$$

yoki vektor ko‘rinishda

$$\vec{i} = \gamma \vec{E}, \quad (84)$$

bu yerda E — tok nayi (o‘tkazgich) ichida elektr maydon kuchlanganligi. (83) va (84) munosabatlar Om qonunining differensial ko‘rinishi nomi bilan yuritiladi. (58) Om qonunidan farq qilib, bu munosabat muhitning ayni bir nuqtasidagi elektr holatini xarakterlovchi kattaliklarni o‘z ichiga olib, tok zichligi vektorini o‘tkazgich ichidagi elektr maydoni kuchlanganligi bilan bog‘laydi.

Shunday qilib, Om qonunining differensial ko‘rinishidan, *o‘tkazgichning har qanday nuqtasidagi elektr toki zichligi muhitning solishtirma elektr o‘tkazuvchanligi bilan shu nuqtadagi elektr maydoni kuchlanganligi ko‘paytmasiga teng ekanligi kelib chiqadi.*

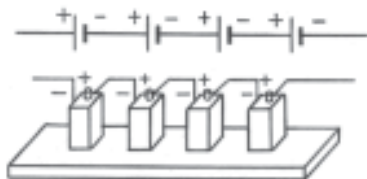
34- §. Tok manbalarini ketma-ket va parallel ulash

Amalda zanjirdagi bitta EYK manbayi, ya’ni element yetarli emas, chunki tok kuchi juda kichik bo‘ladi. Bunday hollarda bir nechta EYK manbayi jamlanib ulanadi. EYK manbalaridan bir nechtasini jamlab ulab elementlar batareyasi hosil qilinadi. Batareya manbalarni ketma-ket, parallel va aralash ulash orqali olinadi.

I. Manbalarni ketma-ket ulashda ikkita qo‘shni manba bir-biriga turli ismli qutblari bilan ulanadi (72- rasm). Amalda bir xil EYK manbalari batareya qilib ulanadi ($1_1 = 1_2 = 1_3 = 1_4$).

Har bir manbaning musbat qutbining potentsiali manfiy qutbiga qaraganda 1 ga ortiq bo‘ladi. Ikkita qo‘shni manbaning musbat va manfiy qutblari bir-biriga o‘tkazgich bilan ulangan, demak, ularning potentsiallari birday bo‘ladi. Shuning uchun ikkinchi manbaning musbat qutbi bilan birinchi manbaning manfiy qutbi orasidagi potentsiallar farqi $1 + 1 = 2$ bo‘ladi va hokazo. Agar ulangan manbalarning soni n ta bo‘lsa, zanjir ochiq bo‘lganda, chetki manbalar qutblarining potentsiallar farqi (ya’ni batareyaning EYK) bir manbanikiga qaraganda n marta ortiq bo‘ladi:

$$1_{um} = n \cdot 1. \quad (85)$$



72- rasm.

Ikkinchi tomondan, tok hamma EYK manbalaridan ketma-ket o'tganligi uchun bir xil EYK manbalaridan tuzilgan batareyaning ichki qarshiligi bitta EYK manbaning ichki qarshiligidan n marta katta bo'ladi:

$$r_{\text{um}} = nr. \quad (86)$$

Shunday qilib, EYK ortishi bilan ichki qarshilik ham ortadi. EYK manbalari batareyasi bo'lgan zanjir uchun Om qonuni quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$I = \frac{1_{\text{um}}}{R + r_{\text{um}}} = \frac{nI}{R + nr}. \quad (87)$$

Bu formuladan ko'rinadiki, bitta EYK manbayini batareya bilan almashtirilganda tok kuchi ortadi. EYK n marta ortganda ichki qarshilik ham n marta ortadi. Ammo $R \gg r$ bo'lgani uchun tok ancha ortishi mumkin.

Demak, EYK manbalarini ketma-ket ulash tashqi zanjirning qarshiligi bitta EYK manbayi qarshiligiga nisbatan anchagina katta bo'lgan taqdirdagina foydalidir.

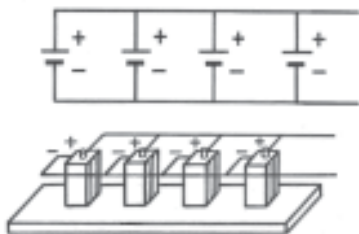
II. Endi EYK manbalarini parallel ulab batareya hosil qilishni ko'rib chiqamiz.

EYK manbalarining barcha musbat qutblari bir o'tkazgichga, manfiy qutblari esa ikkinchi o'tkazgichga ulansa, bunday ulash EYK manbalarini parallel ulash deyiladi (73- rasm).

Agar barcha elementlarning EYK bir xil ($\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2 = \mathcal{E}_3 = \mathcal{E}_4$) bo'lsa, u holda batareyaning EYK bitta manbaning EYK iga teng bo'ladi, chunki manbalarining musbat qutblari o'zaro, manfiy qutblari ham o'zaro ulanganligidan ular bir xil potensialga ega bo'ladi.

Batareyaning o'tkazuvchanligi har bir manba o'tkazuvchanligining algebraik yig'indisiga teng bo'ladi. Agar manbalarining ichki

qarshiligi bir xil bo'lsa, u holda batareyaning o'tkazuvchanligi har bir manbaning o'tkazuvchanligidan n marta katta bo'ladi. Binobarin, batareyaning ichki qarshiligi bitta manbaning ichki qarshiligidan n marta kichikdir:

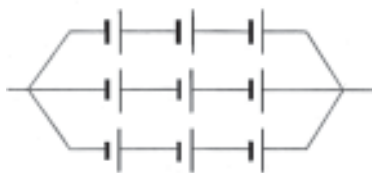


73- rasm.

$$r_{\text{um}} = \frac{r}{n}. \quad (88)$$

Manbalar bunday usul bilan ulanganda, zanjirdagi tok kuchi

$$I = \frac{1}{R + r_{um}} = \frac{1}{R + \frac{r}{n}} \quad (89)$$



formula yordamida aniqlanadi.

(89) formuladan ko‘rinadiki, bitta EYK manbai batareya bilan almashtirilganda zanjirdagi tok ortishi lozim, chunki surat o‘zgarishsiz qolgan holda maxraj kamayadi. Bunda maxrajdagi yig‘indining faqat bir hadi — r_{um} kichrayadi. Butun yig‘indining sezilarli o‘zgarishi uning asosiy qismini r tashkil etgan holdagina, ya’ni R ga qaraganda r ancha katta bo‘lgan holdagina kuzatiladi.

Demak, EYK manbalarini parallel ulash tashqi zanjirning qarshiligi bitta EYK manbayining qarshiligiga nisbatan kichik bo‘lgandagina foydalidir.

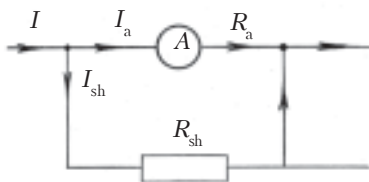
III. EYK manbalarini aralash ulash ham amalda qo‘llaniladi. Ketma-ket ulangan n ta EYK manbalari m ta tarmoq qilib bir-biriga parallel ulansa (74- rasm), bunday ulash manbalarni aralash ulash deb ataladi. Bunday holda berk zanjir uchun Om qonuni

$$I = \frac{n1}{R + \frac{nr}{m}} \quad (90)$$

ko‘rinishda bo‘lishini isbot qilishni o‘quvchilarning o‘zlariga havola qilamiz.

35- §. Elektr zanjiriga o‘lchov asboblari ulash. O‘lchov asbollariga shunt va qo‘shimcha qarshilik tanlash

Tok kuchini o‘lchash uchun ampermetr, kuchlanishni o‘lchash uchun voltmeter ishlatilishini yuqorida ko‘rib o‘tdik. Elektr zaryadining saqlanish qonuniga binoan ketma-ket ulangan zanjirning bir qismidan vaqt birligi ichida qancha elektr zaryadi o‘tsa, qolgan barcha qismidan ham shuncha elektr zaryadi o‘tadi. Shuning uchun zanjir ketma-ket ulanganda ampermetrni zanjirning ixtiyoriy qismiga ketma-ket ulash mumkin. Agar zanjir tarmoqlangan bo‘lsa, ampermetr zanjirning bevosita tok o‘lchanayotgan qismiga ketma-ket ulanadi.



75- rasm.

Har qanday elektr o'lchov asboblari zanjirga ulanganda tokni ham, kuchlanishni ham sezilarli o'zgartirmaydigan qilib tuzilgan bo'lishi lozim, aks holda bu kattaliklarning asbob ulangungacha bo'lgan qiymatlarini o'lchash mumkin bo'lmay qoladi.

Barcha o'tkazgichlar singari ampermetr ham qarshilikka ega bo'ladi. Shu sababli u ulanganda butun zanjirning qarshiligi ortadi, tok kuchi esa kamayadi. Ampermetrning qarshiligi qancha kam bo'lsa, u ulanganda zanjirdagi tok shuncha kam o'zgaradi va ko'rsatishi ham haqiqatga shuncha yaqin bo'ladi. Shuning uchun ampermetrni juda ham kichik qarshilikli qilib yasaladi. Kuchsiz toklarni o'lchashga mo'ljallangan ampermetr yordamida ancha kuchli toklarni ham o'lchash mumkin. Buning uchun ampermetrga uning o'z qarshiligidan bir necha marta kichik qarshilik parallel ulanadi. Bu qarshilik s h u n t deyiladi (75- rasm). Bunda tokning ko'p qismi shunt dan o'tadi. Shunt dagi va ampermetrdagi toklar orasidagi munosabatni qarshiliklarni parallel ulaganda tarmoqlardagi tok kuchlarining nisbati qarshiliklarning nisbatiga teskari proporsionalligidan foydalanib topamiz. Zanjirdagi tokni I bilan, ampermetr va shunt dan o'tayotgan toklarni mos ravishda I_a va I_{sh}

bilan belgilaymiz. U vaqtda, $\frac{I_{sh}}{I_a} = \frac{R_a}{R_{sh}}$ bo'ladi. Ampermetrning qarshiligi shuntning qarshiligidan n marta katta bo'lsin, ya'ni

$$\frac{R_a}{R_{sh}} = n. \text{ U holda}$$

$$\frac{I_{sh}}{I_a} = n \text{ yoki } I_{sh} = nI_a \quad (91)$$

bo'ladi. Zanjirning tarmoqlanmagan qismida to'la tok

$$I = I_a + I_{sh} \text{ yoki } I = I_a(n+1)$$

bo'ladi, bundan

$$I_a = \frac{I}{n+1} \quad (92)$$

ekanligi kelib chiqadi. Ko'rinib turibdiki, ampermetrdan o'tayotgan tok kuchi asosiy zanjirdan o'tayotgan tok kuchidan $(n+1)$

marta kichik bo'ladi. Demak, shunt ulanganligi tufayli qo'limizdagi asbob mo'ljallangan tokka qaraganda $(n + 1)$ marta katta toklarni o'lchay olar ekan. Bunda asbob o'lchanayotgan tokning faqat $\frac{1}{n+1}$ qismini ko'rsatadi, ya'ni shkalaning bir bo'limining qiymati $(n + 1)$ marta ortadi.

Elektr zanjirlarida o'lchash ishlari olib borilayotganda qo'laniladigan o'lchov asboblarning ko'pchiligi tok ta'siriga asoslangan, ya'ni ular tok kattaliklarini o'lchaydigan asboblardir. Ammo Om qonuniga muvofiq, kuchlanish va tok kuchi bir-biriga to'g'ri proporsionalligidan bularning ikkalasini ham bir asbobning o'zi bilan o'lchash mumkin. Asbob tokni o'lchashga mo'ljallanganda uning shkalasi tok kuchiga, kuchlanishni o'lchashga mo'ljallanganda esa kuchlanishga moslab darajalanadi.

Voltmetr zanjirning kuchlanishi o'lchanayotgan qismiga parallel ulanadi. Voltmetrni bunday ulash zanjirning qarshiligini kamaytiradi va undagi tokni orttiradi. Bundan voltmetrdagi tok mumkin qadar kichik bo'lishi uchun uning qarshiligi iloji boricha katta bo'lishi kerakligi kelib chiqadi.

Yuqorida ko'rib o'tganimizdek, ampermetr shkalasining bo'lim qiymatini oshirish uchun unga shunt ulash kerak edi. Endi voltmetr bo'limining qiymatini oshirish va uni mo'ljallangan kuchlanishlardan ortiqroq kuchlanishni o'lchash uchun moslashda esa ma'lum bir qarshilikni voltmetrga ketma-ket ulash kerak (76- rasm). Bu qarshilik qo'shimcha qarshilik deb ataladi. Zanjirning CD qismida o'lchanayotgan kuchlanishni U bilan, qo'shimcha qarshilikdagi kuchlanish tushishini U_q bilan va voltmetrning ko'rsatishini U_v bilan belgilaymiz.

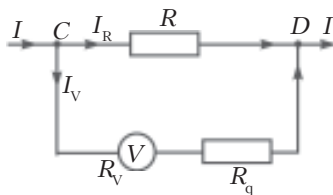
Om qonuniga muvofiq, o'lchanayotgan kuchlanish $U = U_q + U_v = I_v (R_q + R_v)$ ga teng bo'ladi.

Faraz qilaylik, qo'shimcha qarshilik voltmetr qarshiligidan n marta katta bo'lsin:

$$\frac{R_q}{R_v} = n, \text{ bundan } R_q = nR_v. \quad (93)$$

U holda yuqoridagi ifodani quyidagicha o'zgartiramiz:

$$\begin{aligned} U &= I_v (R_v + nR_v) = I_v R_v (n+1) = \\ &= U_v (n+1), \end{aligned}$$



76- rasm.

bundan

$$U_v = \frac{U}{n+1}. \quad (94)$$

Demak, zanjirning CD qismiga ulangan voltmetrning ko'rsatishi shu qismdagi kuchlanishdan $(n+1)$ marta kichik ekan. Bundan voltmetr qarshiligiga nisbatan n marta katta qarshilik voltmetrga ketma-ket ulanganda asbob mo'ljallangan kuchlanishga qaraganda $(n+1)$ marta kattaroq kuchlanishni o'lchashi mumkin ekanligi kelib chiqadi. Bunda asbob o'lchanayotgan kuchlanishning faqat $\frac{1}{n+1}$ qisminigina ko'rsatadi, qolgan qismi qo'shimcha qarshilikda tushadi. Bu holda shkalaning bo'lim qiymati $(n+1)$ marta ortgan bo'ladi.

Xulosa qilib shuni aytish mumkinki, ampermetrga uning qarshiligidan n marta kichik qarshilikni ((91) formula) parallel ulab, voltmetrga uning qarshiligidan n marta katta qarshilikni ((93) formula) ketma-ket ulab, ikkala asbobning o'lchash chegarasini $(n+1)$ marta orttirish mumkin ekan.

36- §. O'zgarmas tokning ishi va quvvati

Elektr zanjirida energiya bir turdan boshqa turga bir necha marta aylanadi. Tok manbayida biror xil energiya (masalan, mexanik, kimyoviy energiya) elektr energiyaga aylanadi, tok zanjirida esa elektr energiya ekvivalent miqdorda boshqa xil energiyaga aylanadi. Elektr energiyaning boshqa tur energiyalarga aylanishiga, elektr zaryadni zanjir bo'ylab harakatlantiruvchi elektr maydon kuchlarining bajaragan ishi o'lchov bo'ladi. Elektr zanjirida zaryadlarni ko'chirishda elektr kuchlarining bajaragan ishi tok ishini ifodalaydi, shuning uchun bu ishni hisoblash qiyin emas.

Zanjirning bir jinsli o'tkazgichdan iborat ixtiyoriy qismidan t vaqt ichida q zaryad miqdori o'tgan, deb faraz qilaylik. Unda elektr maydon $A = qU$ ish bajaradi, bunda U – zanjir qismidagi kuchlanish. Tok kuchi

$$I = \frac{q}{t}$$

bo'lgani uchun bu ish quyidagiga teng:

$$A = IUt. \quad (95)$$

Zanjirning bir qismida o'zgarmas tokning bajargan ishi shu qism uchlaridagi kuchlanish bilan undan oqayotgan tok kuchi hamda shu tok o'tib turgan vaqt ko'paytmasiga teng.

Energiyaning saqlanish qonuniga asosan, bu ish zanjirning biz tekshirayotgan qismining energiya o'zgarishiga teng bo'lishi kerak. Shuning uchun manbadan tok olib o'tadigan va zanjirning aniq bir qismida t vaqt ichida ajralib chiqadigan energiya tokning ishiga tengdir. Agar bir jinsli zanjirning bir qismiga oid Ohm qonuniga asosan (95) formulada tok kuchini kuchlanish orqali yoki kuchlanishni tok kuchi orqali ifodalasak, tok bajargan ishning bir-biriga ekvivalent bo'lgan quyidagi ifodalarini topamiz:

$$A = IUt = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t. \quad (96)$$

O'tkazgichlar ketma-ket ulanganda $A = I^2 R t$ formuladan foydalanish qulay, chunki bu holda tok hamma o'tkazgichlarda bir xil qiymatga ega bo'ladi. O'tkazgichlar parallel ulanganda esa $A = \frac{U^2}{R} t$ formuladan foydalanish qulay, chunki bu holda hamma o'tkazgichlarda kuchlanish bir xil bo'ladi.

Agar kuchlanish voltlarda, tok kuchi amperlarda, vaqt esa sekund hisobida o'lchansa, (95) formuladan ishning birligi

$$[A] = 1\text{B} \cdot 1\text{A} \cdot 1\text{s} = 1\text{J}$$

bo'lishi kelib chiqadi.

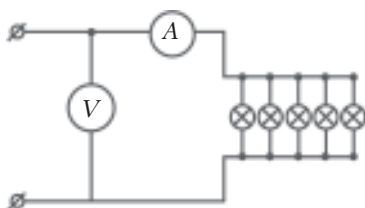
Ayni bir vaqt ichida tok bir iste'molchida ikkinchi iste'molchidagiga qaraganda ko'proq ish bajarishi mumkin. Shuning uchun tok ishi bilan bir qatorda tok quvvati tushunchasi kiritiladi. *Vaqt birligi ichida tokning bajargan ishi bilan o'lchanadigan kattalik tokning quvvati deb ataladi:*

$$P = \frac{A}{t}.$$

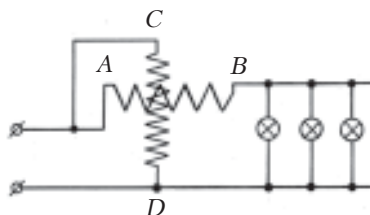
Bu ifodadagi ishni uning (96) formuladagi qiymatlari bilan almashtirsak, tok quvvati uchun

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (97)$$

ifodalarni hosil qilamiz. *Zanjirning biror qismidagi tok quvvati shu qism uchlaridagi kuchlanish bilan qismdan o'tayotgan tok kuchi ko'paytmasiga teng bo'lar ekan.*



77- rasm.



78- rasm.

SI da quvvat birligi

$$[P] = 1A \cdot 1V = 1W.$$

Amalda vattdan tashqari quyidagi quvvat birliklari ham ishlatiladi:

1 gektovatt (hW) = 100 W; 1 kilovatt (kW) = 1000 W;

1 megovatt (MW) = 1000000 W.

Quvvat birligi vatt bo'lganligidan, tok ishi (elektr energiyasi) ning birligi quyidagicha bo'ladi:

$$[A] = 1W \cdot 1 s.$$

Agar quvvat vatt, gektovatt, kilovatt hisobida o'lchansa, ishning amalda qo'llaniladigan birliklari 1 vatt-soat (W-soat) = $3,6 \cdot 10^3$ J; gektovatt-soat (hW) = $3,6 \cdot 10^5$ J; 1 kilovatt soat (kW-soat) = $3,6 \cdot 10^6$ J bo'ladi.

Tok bajargan ish maxsus avtomatik asboblari (elektr schot-chiklar) bilan o'lchanadi, ular ishni kilovatt-soat hisobida qayd qiladi. Elektr zanjiridagi quvvatni ampermetr va voltmeter yordamida o'lchash mumkin. Buning uchun quvvati o'lchanayotgan zanjir qismiga (iste'molchiga) ampermetrni ketma-ket qilib, voltmeterni esa parallel qilib ulash lozim. 77- rasmda cho'g'lanma lampochkalarining quvvatini o'lchash uchun ampermetr va voltmeterni ulash sxemasi ko'rsatilgan.

Tok quvvatini v a t t m e t r deb ataladigan maxsus asbob bilan ham o'lchash mumkin. Bu asbob ham voltmeter, ham ampermetrning ishlash prinsipi asosida tuzilgan. 78- rasmda vattmetrning ulanish sxemasi ko'rsatilgan, bu yerda AB qo'zg'almas g'altak — tok g'altagi energiya iste'molchilariga (lampochkalariga) ketma-ket, CD qo'zg'aluvchan g'altak, ya'ni kuchlanish g'altagi esa lampochkalariga parallel ulangan. Vattmetrning ko'rsatishlarini ampermetr va voltmeterning ko'rsatishlariga qarab tekshirish mumkin.

37- §. Joul — Lens qonuni

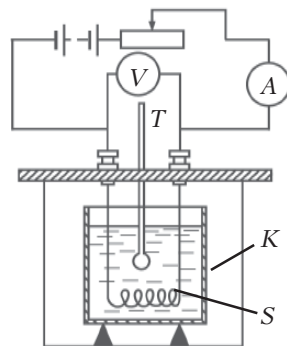
O'tkazgichdan tok o'tganda o'tkazgich qiziydi. Bu hodisani quyidagicha tushuntirish mumkin. O'tkazgichda tok bo'lmaganda undagi erkin elektronlar tartibsiz harakatlanadi va kristall panjaraning ionlariga to'qnashib, ular bilan energiya almashadi. Erkin elektronlarning ionlarga beradigan energiyasi o'rta hisobda ionlarning elektronlarga shu to'qnashishi vaqti davomida berayotgan energiyasiga teng bo'ladi. Bu holda erkin elektronlar sistemasi bilan panjaradagi ionlar sistemasi o'rtasida issiqlik muvozanati yuzaga keladi.

O'tkazgichdan tok o'tayotganda esa elektronlar tartibli harakatga keladi, tartibsiz harakat tezligiga tartibli harakat tezligi qo'shiladi. Elektronning o'rtacha kinetik energiyasi (tok energiyasi hisobiga) ortadi. Elektronlarning o'tkazgich metall panjarasidagi ionlar bilan har bir to'qnashishida bu kinetik energiyaning bir qismi ichki energiyaga — issiqlikka aylanadi. Natijada elektronlarning energiyasi kamayadi. Lekin elektronlar energiyasining kamayishi elektr maydon energiyasi hisobiga tezda tiklanadi. Buning natijasida erkin elektronlar sistemasi bilan panjaradagi ionlar sistemasi o'rtasidagi issiqlik muvozanati buziladi, o'tkazgichning ichki energiyasi ortadi va o'tkazgich bilan uning atrofidagi muhit o'rtasida issiqlik muvozanati yuzaga kelmaguncha o'tkazgichning temperaturasi ko'tarila boradi.

Rus olimi E.X. Lens va ingliz olimi Joul bir-biridan tamomila bexabar, turli hollarda tok ajratgan issiqlik miqdorini tajribada o'lchab topdilar. Sarflangan elektr energiya bilan ajralib chiqqan issiqlik miqdori orasidagi munosabatni o'rnatish maqsadida sxemasi 79- rasmda ko'rsatilgan qurilma yordamida tajriba o'tkazish mumkin. Toza suvli *K* kalorimetrda *S* spiral sim tushirilib, ampermetr va voltmetr bilan tok kuchi va kuchlanish o'lchansa hamda sekundomer yordamida tokning o'tish vaqti belgilansa, tokning ishi (95) formulaga asosan hisoblanadi:

$$A = IUt.$$

Agar zanjirga elektr energiyasini boshqa tur energiyaga aylantiruvchi maxsus asboblardan (masalan, elektr dvigatel) ulanmagan bo'lsa, energiyaning saqlanish qonuniga binoan tokning butun ishi issiqlik ajralishiga sarflanadi, shuning uchun



79- rasm.

$$Q = A = IUt$$

deb yozish mumkin.

Spiralning qarshiligi R bo'lsa, zanjirning bir qismiga oid Ohm qonuniga asosan $U = IR$ bo'lganidan,

$$Q = I^2 Rt \quad (98 a)$$

ifodani hosil qilamiz. Bu formula Joule – Lens qonunini ifodalaydi: *zanjirning bir qismidan tok o'tganda ajralib chiqqan issiqlik miqdori tok kuchining kvadrati bilan qism qarshiligi va tokning o'tish vaqti ko'paytmasiga tengdir.*

Elektr tokining ishini turli formulalar bilan ifodalash mumkinligini [(96) formulaga q.] nazarga olib, Joule – Lens qonunini quyidagi ko'rinishlarda yozish mumkin:

$$Q = IUt = \frac{U^2}{R} t. \quad (98 b)$$

Agar tok kuchi amper hisobida, qarshilik Ohm hisobida, vaqt sekund hisobida o'lchansa, issiqlik miqdori joule hisobida ifodalanadi.

Tok o'tganda o'tkazgichlarda issiqlik ajralib chiqishining texnikada roli juda katta. Bir qator asboblarning va qurilmalarning tuzilishi Joule – Lens hodisasiga asoslangan. Masalan, elektr pechlari, issiqlik elektr o'lchash asboblari, cho'g'lanma lampalar, elektr payvand apparatlari, maishiy elektr isitish asboblari va boshqa turli-tuman isitish asboblari shular jumlasidandir. (Elektr cho'g'lanma lampalarni birinchi marta rus injeneri A.N. Lodigin 1874-yilda yaratgan).

Shu bilan birga, bir qator texnik masalalarda o'tkazgichda issiqlik ajralishi zarar keltiradi. Masalan, elektr energiyasini uzoq masofalarga uzatishda uzatuvchi simlarda ajraladigan issiqlik zararlidir.

38- §. Tok manbayining quvvati va foydali ish koeffitsiyenti

Elektr yurituvchi kuchi 1 va ichki qarshiligi r bo'lgan tok manbayiga qarshiligi R bo'lgan iste'molchi ulangan bo'lsin. Zanjirda ajraladigan to'la quvvat zanjirning tashqi va ichki qismlarida ajraladigan quvvatlar yig'indisiga teng bo'ladi:

$$N = I^2 R + I^2 r = I^2 (R + r),$$

bunda I – zanjirdagi tok kuchi. Berk zanjir uchun Om qonuniga ko‘ra, $1 = I(R + r)$ ekanligidan,

$$N = 1 I = \frac{1^2}{R+r}. \quad (99 \text{ a})$$

Shunday qilib, *zanjirda ajraladigan to‘la quvvat (tok manbayining quvvati) tok kuchi bilan manba EYKning ko‘paytmasiga tengdir.* Iste‘molchida bu to‘la quvvatning biz foydali deb ataydigan faqat bir qismi ajralib chiqadi:

$$N_f = I^2 R = \frac{1^2}{R+r} \cdot \frac{R}{R+r}. \quad (99 \text{ b})$$

Quvvatning qolgan qismi esa tok manbayida va tok o‘tkazuvchi simlarda isrof bo‘ladi.

Foydali quvvatning zanjirdagi EYKning umumiy quvvatiga nisbati bilan ifodalanuvchi kattalik tok manbayining foydali ishkoeffitsiyenti (FIK) deyiladi:

$$\eta = \frac{N_f}{N} = \frac{R}{R+r}. \quad (100)$$

Berilgan tok manbayining quvvati iste‘molchining qarshiligi ga bog‘liq. U qisqa tutashuvda ($R \rightarrow 0$) maksimal qiymatga erishadi:

$$N_{\max} = \frac{1^2}{r}. \quad (101)$$

Biroq bu holda barcha quvvat manbaning ichida ajralib chiqadi va butunlay befoyda bo‘ladi. R kattalashganda to‘la quvvat kamayib boradi va $R \rightarrow \infty$ da nolga intiladi.

Tok manbayidan ajralib chiquvchi foydali quvvatning qiymati eng katta bo‘lganda R va r lar orasidagi munosabatni topamiz. Buning uchun quyidagi hisoblashni bajaramiz. Faraz qilaylik, manbaning EYK $1 = 2B$, ichki qarshiligi $r = 0,6 \Omega$ bo‘lsin. R ga qiymatlar berib, (99 b) formuladan foydali quvvat N_f ni hisoblaymiz:

$$N_f = \frac{4R}{(R+0,6)^2} W.$$

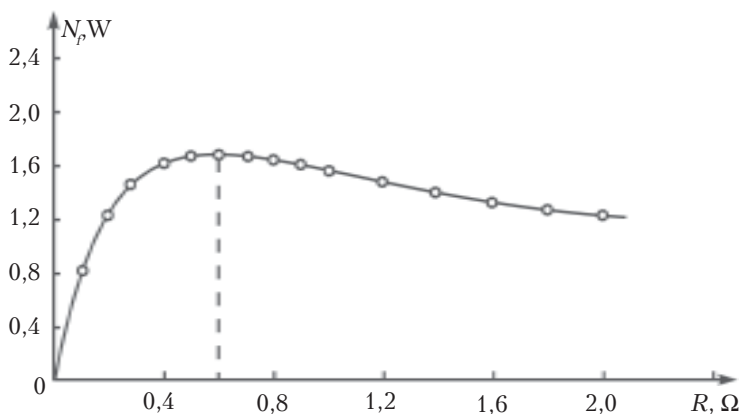
Hisoblash natijalari quyidagi jadvalda berilgan:

1	$R(\Omega)$	$N_f(W)$	1	$R(\Omega)$	$N_f(W)$
1	0	0	9	0,8	1,63
2	0,1	0,82	10	0,9	1,60
3	0,2	1,25	11	1,0	1,56
4	0,3	1,48	12	1,2	1,48
5	0,4	1,60	13	1,4	1,40
6	0,5	1,65	14	1,6	1,32
7	0,6	1,67	15	1,8	1,25
8	0,7	1,65	16	2,0	1,18

Ordinata o'qiga N_f ning, absissa o'qiga R ning qiymatlarini qo'yib, foydali quvvatning iste'molchi qarshiligi (tashqi qarshilik)ga bog'lanish grafigini chizamiz (80- rasm). Grafikdan ko'rinadiki, zanjirning tashqi qismida ajraladigan foydali quvvat dastlab o'sa borib, $R = r$ bo'lganda eng katta qiymatga erishadi, so'ngra kamaya boshlaydi. Demak, berilgan tok manbayidan eng ko'p foydali quvvat olish uchun iste'molchining qarshiligini tok manbayining ichki qarshiligiga teng qilib olish kerak. Bu holda (100) formulaga asosan FIK 0,5 (50%) ni tashkil etadi. Agar $R = r$ bo'lsa, (99 b) formuladan

$$N_{f \max} = \frac{1^2}{4r} \quad (102)$$

bo'ladi, ya'ni eng katta foydali quvvat qisqa tutashuvdagi quvvatning [(101) formula] choragiga teng bo'ladi.



80- rasm.



Takrorlash uchun savollar

1. Zanjirning bir jinsli bo'lmagan qismi uchun Om qonunining mohiyati nimadan iborat? 2. Berk zanjir uchun Om qonunining mohiyati nimadan iborat? 3. Ketma-ket ulangan manbalar batareyasining EYK nimaga teng? Bu holda berk zanjir uchun Om qonuni ifodasining ko'rinishi qanday bo'ladi? 4. Parallel ulangan manbalar batareyasining EYK nimaga teng? Bu holda berk zanjir uchun Om qonunining ifodasi qanday ko'rinishda bo'ladi? 5. Ampermetr qanday asbob? U zanjirga qanday ulanadi? 6. Ampermetrga shunt tanlashning mohiyati nimadan iborat? 7. Voltmetr qanday asbob? U zanjirga qanday ulanadi? 8. Voltmetrga qo'shimcha qarshilik tanlashdan maqsad nima? 9. Zanjirning bir qismida o'zgarmas tok bajargan ish nimaga teng va u qanday birliklarda o'lchanadi? 10. O'zgarmas tokning quvvati nimaga teng va u qanday birliklarda o'lchanadi? 11. Vattmetr nima? U zanjirga qanday ulanadi? 12. Joul – Lens qonunini ta'riflang va formulasini yozing. 13. Tok manbayining quvvati deb nimaga aytiladi? 14. Elektr zanjirida ajralib chiqqan foydali quvvatni oshirish uchun nima qilish kerak? 15. Tok manbayining FIK nima? U qanday kattaliklarga bog'liq?



MASALA YECHISH NAMUNALARI

1- masala. Qarshiligi $0,2 \Omega$ bo'lgan simga galvanik element ulanganda $0,5 \text{ A}$ tok kuchi beradi, shu element $2,4 \Omega$ qarshilikli boshqa simga ulanganda esa $0,25 \text{ A}$ tok kuchi beradi. Elementning EYK va ichki qarshiligini toping.

$$\text{Berilgan: } \frac{R_1 = 0,2 \Omega; I_1 = 0,5 \text{ A}; R_2 = 2,4 \Omega; I_2 = 0,25 \text{ A.}}{1 - ?, r - ?}$$

Yechilishi. Elementni birinchi simga ulaganimizda zanjirdagi tok kuchi

$$I_1 = \frac{1}{R_1 + r} \text{ formuladan aniqlanadi, bundan} \quad 1 = I_1 R_1 + I_1 r. \quad (\text{a})$$

Elementni ikkinchi simga ulaganimizda zanjirdagi tok kuchi

$$I_2 = \frac{1}{R_2 + r}$$

formula bilan hisoblanadi, bundan

$$1 = I_2 R_2 + I_2 r. \quad (\text{b})$$

(a) va (b) formulalarni tenglashtirib elementning ichki qarshiligini topamiz: $I_1 R_1 + I_1 r = I_2 R_2 + I_2 r$, bundan

$$r = \frac{I_2 R_2 - I_1 R_1}{I_1 - I_2}.$$

(a) ifodaga ichki qarshilik ifodasini qo'yib, elementning EYK topiladi:

$$1 = I_1 R_1 + I_1 \frac{I_2 R_2 - I_1 R_1}{I_1 - I_2} = \frac{I_1 I_2 (R_2 - R_1)}{I_1 - I_2}.$$

$$\text{Hisoblash: } r = \frac{0,25\text{A} \cdot 2,4 \Omega - 0,5 \text{A} \cdot 0,2 \Omega}{0,5 \text{A} - 0,25 \text{A}} = \frac{0,6 - 0,1}{0,25} \Omega = 2 \Omega.$$

$$1 = \frac{0,5\text{A} \cdot 0,25\text{A}(2,4 \Omega - 0,2 \Omega)}{0,5\text{A} - 0,25\text{A}} = \frac{0,5 \cdot 0,25 \cdot 2,2}{0,25} \text{V} = 1,1\text{V}.$$

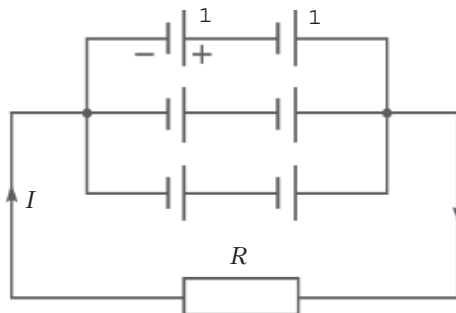
2- masala. Har birining EYK 2 V, ichki qarshiligi $0,3 \Omega$ bo'lgan oltita akkumulatorlardan qarshiligi $0,3 \Omega$ bo'lgan tashqi zanjirga tok beriladi. Akkumulator parallel ulangan uchta guruhdan iborat bo'lib, har bir guruh ketma-ket ulangan ikki elementdan tashkil topgan. Tashqi zanjirdagi tok kuchi qanchaga teng?

$$\text{Berilgan: } R = 0,3 \Omega; \quad \mathcal{E} = 2\text{V}; \quad r = 0,3 \Omega; \quad n_1=2; \quad n_2=3.$$

$I = ?$

Yechilishi. Zanjirning sxemasini chizamiz (81- rasm). Bu sxemada elementlar aralash ulangan. Zanjirdagi tok kuchi

$$I = \frac{\mathcal{E}_{\text{um}}}{R + r_{\text{um}}}$$



81- rasm.

formula orqali topiladi. Batareyaning EYK bitta tarmoqdagi elementlar EYK larining yig'indisiga teng: Batareyaning qarshiligi esa quyidagicha

topiladi: $\frac{1}{r_{um}} = \frac{n_2}{n_1 r}$, ya'ni $\frac{1}{r_{um}} = \frac{1}{2r} + \frac{1}{2r} + \frac{1}{2r}$, bundan $r_{um} = \frac{n_1}{n_2} r = \frac{2}{3} r$.
Demak, zanjirdagi tok kuchi

$$I = \frac{n_1 \mathcal{E}}{R + \frac{n_1}{n_2} r} = \frac{2\mathcal{E}}{R + \frac{2}{3} r}$$

ga teng bo'ladi.

$$\text{Hisoblash: } I = \frac{2 \cdot 2V}{(0,3 + \frac{2}{3} \cdot 0,3)\Omega} = \frac{4}{0,5} A = 8A.$$

3- masala. Qarshiligi $0,04 \Omega$ bo'lgan ampermetrga uzunligi 15 sm va ko'ndalang kesim yuzi 3 mm^2 bo'lgan mis sim parallel ulangan. Ampermetr $0,1 \text{ A}$ tokni ko'rsatadi. Zanjirdagi tok kuchini toping.

$$\text{Berilgan: } R_a = 0,04 \Omega; l = 15 \text{ sm} = 15 \cdot 10^{-2} \text{ m}; S = 3 \text{ mm}^2 = 3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2; I_a = 0,1 \text{ A}; \rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}.$$

$I - ?$

Yechilishi. Parallel ulangan o'tkazgichlardan o'tayotgan tok kuchlarining nisbati shu o'tkazgichlar qarshiliklarining nisbatiga teskari proporsional ekanligidan foydalanib, quyidagi ifodani yozamiz (82- rasm):

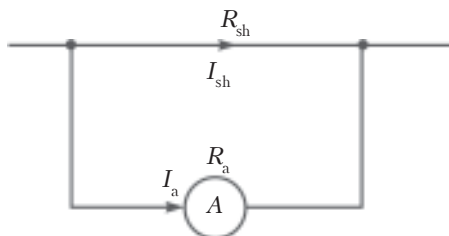
$$\frac{R_{sh}}{R_a} = \frac{I_a}{I_{sh}}$$

Bunda $R_{sh} = \rho \frac{l}{S}$ — shuntning qarshiligi, $I_{sh} = (I - I_a)$ — shuntidan o'tayotgan tok kuchi, I — zanjirdan o'tayotgan tok kuchi. Demak,

$$\frac{\rho \frac{l}{S}}{R_a} = \frac{I_a}{I - I_a},$$

bundan I ni topamiz:

$$I = \frac{I_a (R_a + \rho \frac{l}{S})}{\rho \frac{l}{S}} = \frac{I_a (R_a S + \rho l)}{\rho l}.$$



82- rasm.

Hisoblash:

$$I = \frac{0,1A(0,04 \Omega \cdot 3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 + 1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m} \cdot 15 \cdot 10^{-2} \text{ m})}{1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m} \cdot 15 \cdot 10^{-2} \text{ m}} \approx 4,8 \text{ A.}$$

4- masala. Ichki qarshiligi 400Ω bo'lgan voltmetr yordamida 5 V gacha bo'lgan kuchlanishni o'lchash mumkin. 1) Shu voltmetr yordamida 150 V kuchlanishni o'lchash uchun unga qanday qo'shimcha qarshilikni ketma-ket ulash kerak? 2) Qo'shimcha qarshilik uchlarida potentsiallar farqi qanday bo'ladi?

Berilgan: $R_V = 400 \Omega$; $U_V = 5 \text{ V}$; $U = 150 \text{ V}$.

$R_q - ?$ $U_q - ?$

Yechilishi. Voltmetrda va qo'shimcha qarshilikda kuchlanish tushishi (83- rasm) $U = U_V + U_q = IR_V + IR_q$; bunda I – voltmetr va qo'shimcha qarshilikdan o'tayotgan tok kuchi, uni $I = \frac{U_V}{R_V}$ ifodadan aniqlash mumkin. I ning qiymatini yuqoridagi ifodaga keltirib qo'yib, R_q ni topamiz:

$$R_q = \frac{U - IR_V}{I} = R_V \frac{U - U_V}{U_V}.$$

Qo'shimcha qarshilikdagi kuchlanish

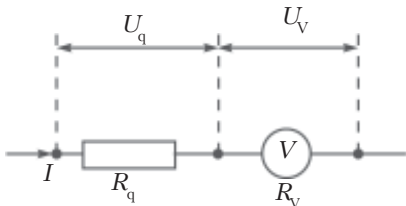
$$U_q = U - U_V$$

ga teng bo'ladi.

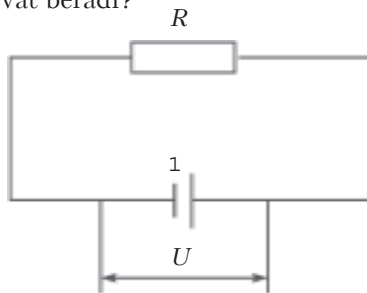
$$\text{Hisoblash: } R_q = 400 \Omega \frac{(150 - 5) \text{ V}}{5 \text{ V}} = 11600 \Omega.$$

$$U_q = 150 \text{ V} - 5 \text{ V} = 145 \text{ V}.$$

5- masala. Ichki qarshiligi 2Ω bo'lgan tok manbayiga qarshiligi 4Ω bo'lgan iste'molchi ulanganda tok manbayi qisqichlaridagi kuchlanish 6 V gacha pasayadi. Manbaning to'la quvvati qanday? Bu tok manbayi iste'molchiga eng ko'pi bilan qancha quvvat beradi?



83- rasm.



84- rasm.

Berilgan: $r = 2 \Omega; R = 4 \Omega; U = 6 \text{ V}.$

$$N_0 - ? \quad N_{\max} - ?$$

Yechilishi. Zanjirning sxemasini chizamiz (84- rasm). Manbaning to'la quvvati $N_0 = 1I$ ga teng. Tok kuchi $I = \frac{U}{R}$; EYK esa $1 = U + I \cdot r = U + \frac{U}{R}r = U \left(1 + \frac{r}{R}\right)$. Demak, to'la quvvat formulasi quyidagi ko'rinishga keladi:

$$N_0 = U \left(1 + \frac{r}{R}\right) \cdot \frac{U}{R} = \frac{U^2}{R} \left(1 + \frac{r}{R}\right).$$

$R = r$ bo'lganda iste'molchida eng ko'p quvvat ajralib chiqadi, u holda zanjirdagi tok kuchi $I = \frac{1}{R+r} = \frac{1}{2r}$, maksimal quvvat esa

$$N_{\max} = I^2 R = \frac{1^2}{4r^2} \cdot r = \frac{U^2 \left(1 + \frac{r}{R}\right)^2}{4r} \text{ ga teng bo'ladi.}$$

Hisoblash: $N_0 = \frac{36 \text{ V}^2}{4 \Omega} \left(1 + \frac{2 \Omega}{4 \Omega}\right) = 13,5 \text{ W}.$

$$N_{\max} = \frac{36 \text{ V}^2}{4 \cdot 2 \Omega} \left(1 + \frac{2 \Omega}{4 \Omega}\right)^2 = 10,1 \text{ W}.$$

6- masala. Chulg'aming qarshiligi 16Ω bo'lgan elektr choynakda temperaturasi 9°C bo'lgan 600 sm^3 suv bor. Agar tarmoqning kuchlanishi 220 V , choynakning FIK 60% bo'lsa, undagi suvni qaynatib, batamom bug'ga aylantirish uchun qancha vaqt kerak?

Berilgan: $R = 16 \Omega; t_1 = 9^\circ \text{C}; t_2 = 100^\circ \text{C};$

$$V = 600 \text{ sm}^3 = 6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3; U = 220 \text{ V}; \eta = 60\% = 0,6;$$

$$c = 4190 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}; \lambda = 22,6 \cdot 10^5 \frac{\text{J}}{\text{kg}}; d = 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}.$$

$\tau - ?$

Yechilishi. Suvning qaynashi va bug'ga aylanishi uchun ketgan issiqlik miqdori $Q = \eta Q_{\text{um}}$, bunda $Q_{\text{um}} = \frac{U^2}{R} \tau$ bo'lib, u choynak tarmoqqa ulanganda τ vaqt davomida ajralib chiqqan issiqlik miqdoriga teng.

Ikkinchi tomondan, bu issiqlik miqdori

$$Q = cm(t_2 - t_1) + m\lambda = Vd[c(t_2 - t_1) + \lambda],$$

bunda $d = 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ – suvning zichligi. Shunday qilib,

$$Vd[c(t_2 - t_1) + \lambda] = \eta \frac{U^2}{R} \tau,$$

bundan

$$\tau = \frac{Vd \cdot R [c(t_2 - t_1) + \lambda]}{\eta U^2}.$$

Hisoblash:

$$\tau = \frac{6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 16 \Omega \left[4190 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} (100 - 9)^\circ\text{C} + 22,6 \cdot 10^5 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \right]}{0,6 \cdot 220^2 \text{ V}^2} \approx$$

$$= 873 \text{ s} \approx 14,5 \text{ min}.$$



MUSTAQIL YECHISH UCHUN MASALALAR

44. Galvanik elementga voltmetr ulanganda u 1,2 V ni ko'rsatadi, elementni qarshiligi 2 Ω bo'lgan sim bilan tutashtirilgach, voltmetr 1 V ni ko'rsatadi. Elementning ichki qarshiligini toping.

45. Elektr yurituvchi kuchi 12 V bo'lgan batareyaga 2 Ω qarshilik ulanganda zanjirdagi tok 5 A bo'lsa, batareyaning qisqa tutashuvdagi tokini aniqlang.

46. Batareya qutblaridagi potentsiallar farqi 110 V bo'lganda 5 A tok kuchi hosil qilish uchun EYK 2 V dan va ichki qarshiligi 0,2 Ω dan bo'lgan akkumulatorning nechtasini ketma-ket ulash kerak?

47. EYK lari 1,9 V va 1,1 V, ichki qarshiliklari 0,8 Ω va 0,1 Ω bo'lgan ikkita element o'zaro parallel ulanib, 10 Ω qarshilikka tutashtirilgan. Zanjirning tashqi qismidagi tok kuchini toping.

48. Qarshiligi 0,16 Ω bo'lgan ampermetrga qarshiligi 0,04 Ω bo'lgan shunt ulangan. Ampermetr 8 A ni ko'rsatadi. O'tkazgichdagi tok kuchi topilsin.

49. Qarshiligi 0,4 Ω bo'lgan ampermetr 5 A tok kuchini o'lchashga mo'ljallangan. Shu ampermetr bilan 100 A tok kuchini o'lchash uchun unga qanday shunt ulash kerak?

50. Qarshiligi 200 Ω bo'lgan voltmetr shkalasining bo'lim qiymati 20 marta ortishi uchun unga qanday qo'shimcha qarshilik ulash kerak?

51. Har birining EYK 2,03 V va ichki qarshiligi 0,12 Ω (85- rasm) bo'lgan uchta elementni ketma-ket ulab, batareya tuzilgan. Agar $R_1 = 6 \Omega$, $R_2 = 4 \Omega$, $R_3 = 6 \Omega$ va $R_4 = 8 \Omega$ bo'lsa, zanjirdagi tok kuchi qanday bo'ladi?

52. 127 V li ikkita elektr lampochkasi bo'lib, ulardan biri 60 W, ikkinchisi 90 W quvvatga mo'ljallangan. Qaysi lampaning qarshiligi katta va necha marta?

53. Massasi 900 kg bo'lgan lift o'rtacha $0,44 \frac{m}{s}$ tezlik bilan ko'tariladi. Motor qisqichlaridagi kuchlanish 220 V ga teng, uning FIK 90%.

Motor sarflayotgan quvvatni va tok kuchini toping.

54. Quvvati 600 W bo'lgan elektr isitgich 120 V kuchlanishga mo'ljallangan. Isitgich yasalgan nikelin simning ko'ndalang kesim yuzi $0,2 \text{ mm}^2$ bo'lsa, bunday simdan qanday uzunlikda olish kerak? Nikelin uchun solishtirma qarshilik $4 \cdot 10^{-7} \Omega \cdot m$ ga teng.

55. Quvvati 600 W bo'lgan elektr choynakda 1 l suvning $20^\circ C$ dan $100^\circ C$ gacha isishi uchun ketgan vaqtni aniqlang. Choynakning

FIK 80%. Suvning zichligi $1 \cdot 10^3 \frac{kg}{m^3}$, solishtirma issiqlik sig'imi $4,19 \cdot 10^3 \cdot \frac{J}{kg \cdot K}$.

56. Sekundiga bir grammdan eriyotgan muzni eritib, hosil bo'lgan suvni erish nuqtasidan to qaynash nuqtasigacha isitish uchun qarshiligi 100Ω bo'lgan isitgichdan qancha tok o'tishi kerak?

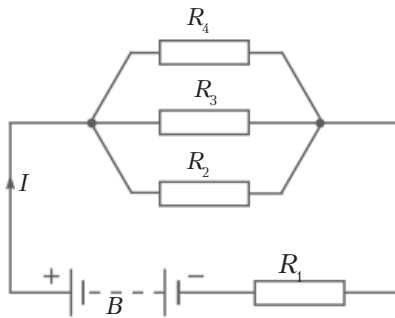
57. Qarshiligi 2Ω bo'lgan elektromotor 120 V kuchlanishda ishlaydi. Motor ishlayotganda 10 A tok kuchi o'tsa, uning iste'mol quvvatini va FIK ni toping.

58. EYK 12 V bo'lgan batareyaning qisqa tutashuv toki 5 A bo'lsa, batareya zanjirida ajraluvchi eng katta quvvatni aniqlang.

59. Bir xil diametrlri mis, temir va nikelin sim bo'laklarining uchlari bir-biri bilan ketma-ket kavsharlangan va u tok zanjiriga ulangan.

1) Qaysi sim ko'proq qiziydi? 2) Agar ular o'zaro parallel ulansa, qaysi biri kuchliroq qiziydi?

60. Normal cho'g'lanishi uchun 220 V kuchlanish kerak bo'lgan bitta lampochka va har biriga 110 V dan kerak bo'lgan ikkita lampochkani 220 V kuchlanishli yoritish tarmog'iga ulash sxemasini chizing.



85- rasm.

III bob. TURLI MUHITLARDAGI ELEKTR TOKI

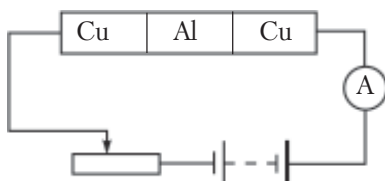
39- §. Metallarda erkin elektronlar mavjudligini tasdiqlovchi tajribalar

Barcha metallar birinchi tur o'tkazgichlar toifasiga kiradi (22- § ga q.). Binobarin, ulardan tok o'tganda tarkibida hech qanday kimyoviy o'zgarishlar sodir bo'lmaydi. Bundan metallardan tok o'tganda uning atomlari o'tkazgichning bir qismidan ikkinchi qismiga ko'chmaydi, degan xulosaga kelamiz. Bunday xulosaning to'g'ri ekanligini 1901- yilda nemis fizigi Rikke tomonidan amalga oshirilgan tajriba natijalari tasdiqlaydi. Rikke tajribasi quyidagicha o'tkazilgan: u, asoslari juda toza yo'nilgan ikkita mis va bitta aluminiy silindrlarni olib, ularni asoslari bilan bir-biriga qattiq jipslab ulab, mis-aluminiy-mis tarkibli o'tkazgich hosil qildi (86- rasm). Shu o'tkazgich orqali bir yil davomida bir xil yo'nalishda uzluksiz ravishda kuchi $\sim 0,1$ A ga teng elektr toki o'tkazib turadi. Shuncha vaqt davomida silindrlar orqali $3 \cdot 10^6$ C dan ziyod zaryad oqib o'tadi. So'ng silindrlar ajratilib, ularning asoslari mikroskop ostida qarab tekshirilganda, tok o'tish jarayonida bir metall zarralari (atomlari)ning ikkinchi metall ichiga singib borganligining alomati aniqlanmagan.

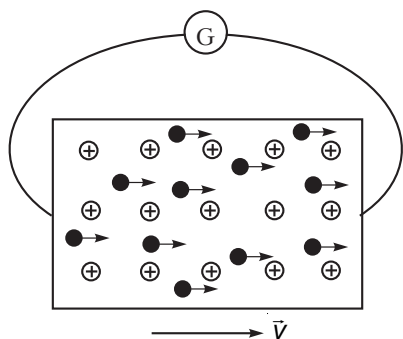
Rikke tajribasining natijalaridan metallarda zaryad tashuvchilar vazifasini atomlar (aniqrog'i ionlar) emas, balki barcha metallar tarkibiga kiruvchi qandaydir zarralar bajaradi, degan xulosaga kelindi. Bunday zarralar 1897- yilda ingliz fizigi J. Tomson tomonidan kashf qilingan elektronlar bo'lishi mumkin.

Shunday ekanligi 1916- yili Styuart va Tolmen tomonidan o'tkazilgan tajribada tasdiqlangan. Bu tajribaning g'oyasi 1913- yili N.D. Papaleksi va L.I. Mandelshtam tomonidan aytilgan edi. Bu g'oya shundan iborat. Faraz qilaylik, zaryadlanmagan metall bo'lgi juda katta tezlik bilan harakatlanayotgan bo'lsin (87- rasm).

Kristall panjara metallidagi erkin zaryadlarni ilashtirib olib ketadi. Metall bo'lagining harakati keskin to'xtatilganda ham erkin zaryadlar o'z harakatini inersiyasi tufayli ma'lum vaqt davom ettiradi. Zaryadlarning bu harakati zanjirda tok hosil qiladi, uni zanjirga ulangan juda



86- rasm.



87- rasm.



88- rasm.

sezgir asbob – galvanometr strelkasining og‘ishidan payqash mumkin. Bu tokning yo‘nalishi erkin zaryadlarning yo‘nalishi haqida, tokning miqdori (kuchi) esa erkin zaryadlarning birlik massaga mos keluvchi zaryad miqdori (solishtirma zaryad) $\frac{q}{m}$ haqida ma‘lumot beradi. Bu hodisani kuzatish uchun quyidagi tajriba o‘tkazilgan.

Juda ko‘p o‘ramli ingichka sim o‘ralgan g‘altak o‘z o‘qi atrofida tez aylantirilgan (88- rasm). Simning uchlari sezgir galvanometrغا sirpanuvchi o‘tkazgichlar bilan ulangan. G‘altak keskin to‘xtatilganda galvanometr strelkasi sekundning ulushlaricha vaqt davomida og‘ib, tok borligini va bu tokning yo‘nalishi uning manfiy zaryadli zarralar harakatidan vujudga kelishini ko‘rsatgan. Bunda ko‘chiriladigan zaryadning kattaligi tok hosil qiluvchi zarralar zaryadining ular massasiga nisbatiga, ya‘ni $\frac{q}{m}$ ga proporsional bo‘ladi. Shuning uchun zanjirda tok mavjud bo‘lgan butun vaqt davomida galvanometr orqali o‘tgan zaryad kattaligi o‘lchanib, $\frac{q}{m}$ nisbat aniqlangan. Tolmen va Styuart tajribalaridan mis uchun $\frac{q}{m} = 1,6 \cdot 10^{11} \frac{C}{kg}$, aluminiy uchun $\frac{q}{m} = 1,54 \cdot 10^{11} \frac{C}{kg}$, kumush uchun $\frac{q}{m} = 1,49 \cdot 10^{11} \frac{C}{kg}$ aniqlangan. Bu kattaliklar elektron uchun $\frac{e}{m}$ nisbatning boshqa tajribalardan topilgan qiymatiga to‘g‘ri keladi (bu yerda $q = e$ – elektronning zaryadi).

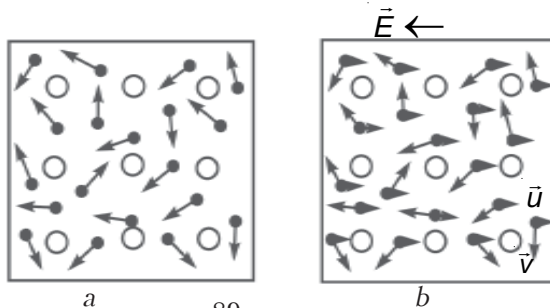
Shunday qilib, tajribalarning ko‘rsatishicha, metallarda erkin elektronlar mavjud bo‘lib, ularda elektr toki ana shu erkin elektronlarning tartibli harakatidan yuzaga keladi.

Metallar tarkibida erkin elektronlar mavjudligini quyidagicha tushuntirish mumkin. Alohida atomlar birlashib kristall qattiq jism – metall hosil qilganda atomlar orasida kuchli o‘zaro ta’sir yuzaga keladi. Buning natijasida eng tashqi atom qobig‘idagi (valent) elektronlar o‘z atomlari bilan bog‘lanishni osongina uzib, bir atomdan ikkinchi atomga, undan keyingi qo‘shni atomga va hokazo o‘tib, butun kristall panjara ichida erkin harakatlanib yuradi. Endi bu valent elektronlar biror atomga tegishli bo‘lmay, balki metall bo‘lagining „kollektiv tashkil etuvchisi“ bo‘lib qoladi. Bu elektronlar erkin elektronlar deb atalgan.

Kristall panjaraning tugunlarida valent elektronlaridan ajralgan atom qoldiqlari (ionlar) joylashgan. Agar har biri bir valentli atomdan bittadan elektron ajralib qolsa (ikki valentli atomdan ikkitadan elektron ajralishi mumkin), hajm birligidagi erkin elektronlar soni, ya’ni elektronlar konsentratsiyasi uchun $n = 10^{28} \text{ j}10^{29} \text{ m}^{-3}$ tartibdagi qiymatlar to‘g‘ri keladi.

40- §. Metallarda elektr toki. Elektr qarshilikning sabablari

Absolut noldan farqli temperaturalarda metallardagi ionlar ham, erkin elektronlar ham to‘xtovsiz issiqlik harakatida qatnashadi. Ionlarning issiqlik harakati ularning muvozanati vaziyati atrofidagi tebranma harakatlardan iborat. Erkin elektronlar esa metall parcha-sining sirti bilan chegaralangan hajmda erkin harakatlanadi, ya’ni turli yo‘nalishlar bo‘yicha turlicha tezliklarga ega bo‘ladi. 89- a rasmda doirachalar bilan ionlar, nuqtalar bilan erkin elektronlar, strelkali chiziqchalar bilan erkin elektronlar issiqlik harakatining \vec{v} o‘rtacha tezlik vektorlari tasvirlangan. Ravshanki, erkin elektronlarning bunday issiqlik harakati elektr tokini yuzaga keltirmaydi, chunki butkul tartibsizlik tufayli bir yo‘nalishda qancha elektron harakatlansa, qarama-qarshi yo‘nalishda ham shuncha elektron harakatlanadi.



89- rasm.

Binobarin, metall ichida olingan ixtiyoriy yuza orqali o'tuvchi zaryadlarning yig'indisi nolga teng bo'ladi. Biroq, metallni tashqi \vec{E} elektr maydoniga kiritilsa, boshqacha holat yuz beradi: maydon ta'sirida barcha elektronlar maydon yo'nalishiga qarama-qarshi tomonga (bir tomonga) yo'nalgan qo'shimcha \vec{u} tezlikka ega bo'ladilar (89- b rasm). Endi elektronlarning harakati butkul tartibsiz bo'lmaydi. Elektronlar tartibsiz issiqlik harakatini davom ettirgan holda tashqi maydonga qarama-qarshi yo'nalishda siljiydi, demak, elektr toki vujudga keladi.

Shunday qilib, metallarda elektr toki erkin elektronlarning tartibli harakatidan iborat bo'ladi. Shuning uchun erkin elektronlarni o'tkazuvchanlik elektronlari deb ataladi.

Metallarda erkin elektron hamma vaqt ham erkin harakatlanmaydi. Ular o'zaro va kristall panjara tugunlaridagi ionlar bilan tez-tez to'qnashib turadi. Lekin elektronlarning ionlar bilan to'qnashishlari ustunlik qiladi. Ikki ketma-ket to'qnashishlar orasida o'tgan vaqt davomida elektronlar erkin harakatlanadi. Shu vaqt davomida bosib o'tgan yo'lini elektronning erkin yugurish yo'li deb ataladi.

Elektron ion bilan to'qnashganda uning tartibli harakat tezligi keskin kamayadi, hatto nolga teng bo'ladi. So'ng u navbatdagi ion bilan to'qnashguncha elektr maydon ta'sirida tekis tezlanuvchan harakat qiladi va yana biror kinetik energiyaga ega bo'ladi. Elektronlar tartibli harakatining bu energiyasi to'qnashish jarayonida panjara ionlariga to'la yoki qisman uzatiladi, natijada ionlar yanada kuchliroq issiqlik harakatiga keladilar. Shunday qilib, metallda tok bo'lganda elektronlarning tartibli harakat energiyasi ionlarning tartibsiz tebranishlar energiyasiga, binobarin, metallning ichki energiyasiga aylanadi, metallning ichki energiyasi ortadi. Shu sababli metalldan tok o'tganda u qiziydi. Xuddi shunday, tashqi elektr maydon olinganda, to'qnashishlar oqibatida elektronlarning tartibli harakati tezda tartibsiz issiqlik harakatiga aylanadi va elektr toki to'xtaydi. Shunday qilib, metallda elektronlarning tartibli harakati xuddi gazlardagi ichki ishqalanish kabi ishqalanishga duch keladi, bu harakatga go'yo tormozlashga intiluvchi biror ishqalanish kuchidek ta'sir ko'rsatiladi.

Yuqorida bayon etilganlardan xulosa chiqarib, metallarning qarshiligi erkin elektronlarning kristall panjara tugunlarida joylashgan ionlar bilan to'qnashishlari natijasida yuzaga keladi, deyish mumkin.

Bu xulosa ko'plab tajribalarda o'z tasdig'ini topganligiga ishonch hosil qilish mumkin.

41- §. Metallar elektr o'tkazuvchanligining klassik elektron nazariyasi elementlari

Erkin elektronlar haqidagi tasavvurdan foydalanib, 1900- yili nemis fizigi P. Drude metallarning elektr o'tkazuvchanligiga oid klassik elektron nazariyasiga asos soldi. 1904- yili niderland fizik-nazariyotchisi X. Lorens mazkur nazariyani takomillashtirib, rivojlantirdi. Lorens metallardagi erkin elektronlar uzluksiz ravishda tartibsiz harakatda bo'ladi va bu ma'noda metallardagi elektronlar to'plamini „elektron gaz“ deyish mumkin, deb hisobladi. Elektronlar o'zaro emas, balki ko'proq metallarning kristall panjalarini tashkil etuvchi ionlar bilan to'qnashadi va bu to'qnashishlar elektron gaz bilan kristall panjara orasida issiqlik muvozanati o'rnatilishiga olib keladi. To'qnashish orasidagi vaqtda elektronlar deyarli erkin harakatlanadi.

Elektron gazga gazlar kinetik nazariyasining natijalarini tatbiq etish mumkinligini hisobga olib, elektronlar issiqlik harakati o'rtacha tezligining qiymatini

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} \quad (103)$$

formula bo'yicha hisoblab chiqish mumkin. Bu formulada k – Bolsman doimiysi, T – metallning absolut temperaturasi, m – elektronning massasi. Xona temperaturasi ($T \sim 300$ K) uchun bu formula bo'yicha hisoblash quyidagi natijaga olib keladi:

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{8,1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}} \cdot 300\text{K}}{3,14 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \text{kg}}} = 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

(103) formula orqali ifodalanuvchi tezlik bilan borayotgan xaotik (issiqlik) harakatdagi elektronlarga maydon ta'sir qilganda ularning biror o'rtacha tezlikdagi tartibli harakati yuzaga keladi (89- rasmga qarang). Bu tezlik qiymatini (52) formulaga asosan baholash mumkin.

Mis o'tkazgichlar uchun tok zichligining standart bo'yicha chegaraviy qiymati $i = 10 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2} = 10^7 \frac{\text{A}}{\text{m}^2}$ ni tashkil etadi. Elektronlar konsentratsiyasi n uchun $10^{23} \text{ sm}^{-3} = 10^{29} \text{ m}^{-3}$ qiymatni olib,

$$\bar{u} = \frac{I}{q_0 n S} = \frac{i}{en} = \frac{10^7 \frac{\text{A}}{\text{m}^2}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{C} \cdot 10^{29} \text{m}^{-3}} \cong 10^{-3} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

ni topamiz. Shunday qilib, hatto juda katta tok zichliklarida zaryadlar tartibli harakatining o'rtacha tezligi \bar{u} issiqlik harakatining o'rtacha tezligi \bar{v} dan 10^8 marta kamdir. Elektr maydonning o'tkazgich ichida tarqalish tezligi esa juda katta bo'lib, yorug'lik tezligiga yaqin bo'ladi. Elektr tokining tarqalish tezligi deganda shu tezlik nazarda tutiladi. Haqiqatan ham, o'zgarish tokda ishtirok etuvchi elektron uzunligi bir necha metr bo'lgan o'tkazgichni bir necha minut davomida o'tishi mumkin, biroq elektr signali shu o'tkazgichning bir uchidan ikkinchi uchiga taxminan o'n nano sekund (10^{-9} s) vaqt davomida yetib keladi.

Endi metallarning tuzilishi haqidagi tasavvurlarga asoslanib, Om qonunini ko'rib chiqamiz. Zanjirning bir qismiga oid Om qonunidan ma'lumki, tok kuchi o'tkazgichning uchlaridagi potentsiallar farqiga to'g'ri proporsional. Bunda proporsionallik koefitsiyenti o'tkazgichning elektr qarshiligini beradi.

Bizga uzunligi l va ko'ndalang kesim yuzi S bo'lgan o'tkazgich berilgan bo'lsin. Agar o'tkazgichning uchlaridagi potentsiallar farqi U bo'lsa, o'tkazgich ichidagi elektr maydon kuchlanganligining moduli $E = \frac{U}{l}$ bo'ladi va bitta elektronga moduli $F = eE = e \frac{U}{l}$ ga teng bo'lgan kuch ta'sir etadi. Bu kuch ta'siri ostida elektron \bar{u} o'rtacha tezlik bilan tartibli harakat qiladi. Agar elektronning ikki ketma-ket to'qnashishi orasidagi vaqtning o'rtacha qiymatini τ bilan belgilasak, u holda elektron tartibli harakatining o'rtacha tezligi uning F kuch ta'sirida olgan tezlanishi bilan τ vaqt ko'paytmasiga teng. Bunda har bir to'qnashishdan keyin elektron tezligining yo'nalishi turlicha o'zgarishi mumkin, shuning uchun har bir to'qnashishdan keyingi boshlang'ich tezlik vektorining o'rtacha qiymati nolga teng bo'ladi va boshlang'ich tezlik elektrolarning tartibli harakatining o'rtacha tezligiga ta'sir ko'rsatmaydi.

Elektronning maydon ta'sirida olgan tezlanishi $a = \frac{F}{m}$, bunda m — elektronning massasi. Tartibli harakatning o'rtacha tezlik moduli

$$\bar{u} = a \tau = \frac{F}{m} \tau = \frac{eE}{m} \tau = \frac{e\tau U}{ml}. \quad (104)$$

Bu ifodadan \bar{u} ning qiymatini (52) formulaga qo'yib, tok kuchini topamiz:

$$I = enS\bar{u} = \frac{e^2 n S \tau U}{ml}. \quad (105)$$

Bu formuladan tok kuchining kuchlanishga to'g'ri proporsional ekanligini ko'rish mumkin. Bu esa Om qonuni bilan mos tushadi. (105) formulani Om qonuni bilan taqqoslab, o'tkazgich qarshiligining quyidagi ifodasini topamiz:

$$R = \frac{ml}{e^2 n \tau S}.$$

$R = \rho \frac{l}{S}$ bo'lganidan, solishtirma qarshilik quyidagiga teng bo'ladi:

$$\rho = \frac{m}{e^2 n \tau}. \quad (106)$$

Demak, elektronlarning konsentratsiyasi ortishi bilan solishtirma qarshilik kamayadi, elektr o'tkazuvchanlik ortadi. (106) formula ham tajriba natijalariga mos keladi.

Issiqlik harakati tezligi qancha katta bo'lsa, to'qnashishlar shuncha tez-tez yuz beradi va τ vaqt shuncha qisqa bo'ladi. Zarralar issiqlik harakatining o'rtacha tezligi \sqrt{T} ga proporsionalligidan ((103) formula), $\tau \propto \frac{1}{\sqrt{T}}$ bo'ladi.

Metallarda erkin elektronlar konsentratsiyasi temperaturaga bog'liq emas. Shuning uchun solishtirma qarshilik $\tau \propto \frac{1}{\sqrt{T}}$ bo'lishi hisobigagina o'zgaradi. Biroq, (66) formulaga asosan, $\rho \sim T$, ya'ni solishtirma qarshilik temperatura ko'tarilishi bilan chiziqli ravishda ortadi. Nazariya esa $\rho \propto \sqrt{T}$ natijani beradi. Nazariya bilan tajribaning bunday mos kelmasligi metallarda elektronlarning harakatiga Nyutonning klassik mexanikasini qo'llab bo'lmasligini ko'rsatadi. Shuning uchun klassik mexanikaga asoslangan nazariya tajribadan kelib chiqadigan barcha qonuniyatlarni miqdor jihatdan izohlab bera olmaydi.

Elektronlarning metallardagi harakatini k v a n t m e x a n i k a s i deb ataladigan nazariya to'g'ri tavsiflaydi.

42- §. Elektronning chiqish ishi

Metall ichidagi elektronlarning energiyasi katta bo‘ladi, shuning uchun bu elektronlarning tezligi metall sirtiga tomon yo‘nalganda, ular metalldan tashqariga chiqib ketishi mumkindek ko‘rinadi. Biroq, odatdagi temperaturalarda metallar o‘z-o‘zidan elektronlarni chiqarmaydi. Erkin elektronlar metall ichida tutib turilar ekan, demak, metallning sirti yaqinida elektronlarga ta‘sir qiluvchi va metall ichiga qarab yo‘nalgan kuchlar mavjud bo‘lishi kerak. Bu kuchlarning tabiati qanday ekanligini aniqlash uchun 90- rasmda tasvirlangan kristall panjarani tasavvur qilamiz. Metall ichidagi erkin elektronlarga musbat ionlar tomonidan ta‘sir qiluvchi tortishish kuchlari o‘zaro muvozanatlashadi. Shu sababli elektronlar metall ichida panjara tugunlari orasida erkin harakatlana oladi. Agar biror sabab bilan elektron metall chegarasidan tashqariga chiqsa (*ab* sirt orqali), u holda unga metall sirtidagi ionlarning muvozanatlashmagan tortishish kuchlari va elektronning metalldan chiqishi tufayli hosil bo‘lgan ortiqcha musbat zaryadning tortishish kuchi ta‘sir qila boshlaydi. Metall tomonga yo‘nalgan natijaviy F kuch e elektronni metallga qaytaradi. Metallning sirti metalldan to‘xtovsiz otilib chiqayotgan zich „elektron buluti“ bilan qurshalib qoladi. Shunday qilib, elektron metallni tashlab, atrof-muhitga ketishi uchun uni metallga tortadigan kuchlarni yengish ustida ma‘lum ish bajarishi kerak. Bu ish elektronning metalldan chiqish ishi deb ataladi. Turli metallar uchun chiqish ishi turlicha bo‘ladi va odatda, jadvallarda beriladi.

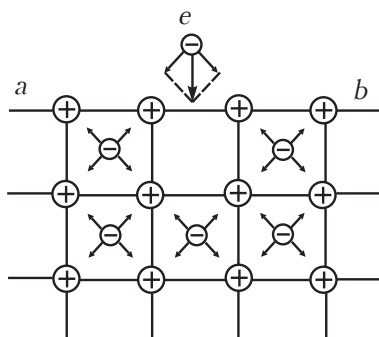
Chiqish ishi elektron voltlarda (eV) o‘lchanadi. Bir elektron volt elektr maydonning potentsiallar farqi bir volt bo‘lgan ikki nuqtasi orasida elektronni ko‘chirishda bajariladigan ishga teng.

Elektron zaryadi $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C bo‘lgani uchun

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

bo‘ladi.

Chiqish ishini bajarish uchun kerak bo‘lgan energiyani elektronlarga har xil usullar: metallni qizdirish — termoemissiya, unga yorug‘lik bilan ta‘sir qilish — foto-



90- rasm.

emissiya, metallni atomlar yoki musbat ionlar bilan bombardimon qilish – ikkilamchi emissiya va shu singari usullar bilan berish mumkin.

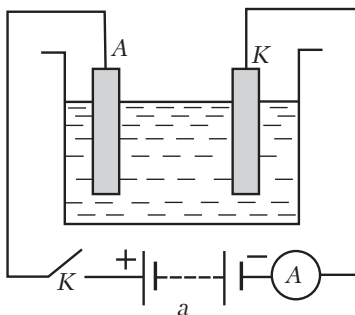
43- §. Elektrolitlar. Elektrolitik dissotsiatsiya

Suyuqliklar ham qattiq jismlar kabi, yarimo‘tkazgich va o‘tkazgich bo‘lishi mumkin. Distillangan suv dielektriklar jumlasiga kiradi. Masalan, selen, sulfidlar aralashmasi suyuq yarimo‘tkazgichlardir.

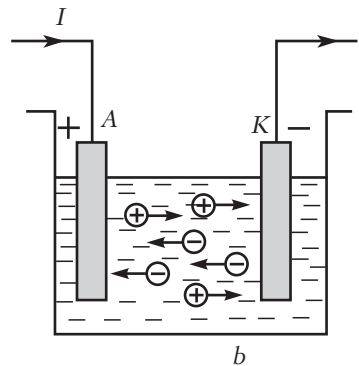
Elektr tokini o‘tkazadigan suyuqliklar elektrolitlar deb ataladi. Elektrolitlarga tuz, kislota va ishqorlarning suvdagi eritmasi kiradi. Bunga ishonch hosil qilish uchun quyidagicha tajribani bajarib ko‘ramiz.

Idishga distillangan suv solib, unga ikkita metall yoki ko‘mir sterjenlar tushiriladi. Bu sterjenlar elektrodlar deb ataladi. Elektrodni ampermetrga va EYK manbayiga ketma-ket ulaymiz (91- rasm). Manbaning musbat qutbiga ulangan elektrod anod (A), manfiy qutbga ulangan elektrod esa katod (K) deb ataladi. Agar kalitni ulasak, ampermetr zanjirda tok deyarli yo‘qligini ko‘rsatadi. Demak, distillangan suv izolator bo‘lib, unda zaryad tashuvchi erkin zarralar bo‘lmaydi. Lekin suvga biror tuzdan ozgina solinsa, zanjirda tok vujudga keladi. Eritmada zaryad tashuvchi zarralar paydo bo‘ladi (92- rasm).

Elektrolitlardagi o‘tkazuvchanlikning mohiyatini tushunish uchun distillangan suvga vodorod xlorid (HCL) kislotasidan ozgina qo‘shamiz. Vodorod xlorid molekulasidagi vodorod va xlor atomlarining o‘zaro ta‘sirini quyidagicha tasavvur qilish mumkin: vodo-



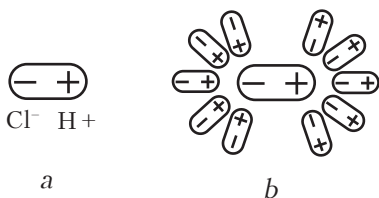
91- rasm.



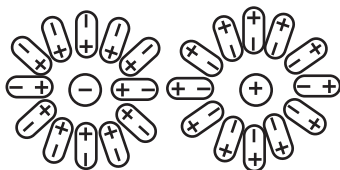
92- rasm.

rod va xlor atomlari birikib vodorod xlorid molekulasini hosil qilishda vodorodning yakka-yu yagona valentlik elektroni xlor atomiga o'tib, uni manfiy xlor (Cl^-) ioniga aylantiradi, vodorodning o'zi esa musbat vodorod (H^+) ioniga aylanadi. Bu ikkala ion bir-birining yaqinida elektr kuchi bilan tutib turiladi. Shu sababli, vodorod xlorid molekulasida atomlarning o'zaro ta'siri musbat vodorod ioni bilan manfiy xlor ionining o'zaro ta'siridan iborat. Shunga muvofiq, xlorid kislota molekulasini elektr dipoli ko'rinishida sxematik tasvirlash mumkin (93- a rasm).

Vodorod xlorid kislotasi suvda eriganda xlorid kislota molekulari suv molekulari qurshoviga tushib qoladi. Suv molekulari ham dipoldir. Xlorid kislota dipolini suv molekulari qarama-qarshi zaryadli ionlari tomoni bilan o'rab oladi (93- b rasm) va xlorid kislota molekulasini shunday cho'zadiki, u boshqa molekular bilan to'qnashganda salgina silkinsa ham parchalanib, musbat vodorod va manfiy xlor ionlariga aylanadi. Uncha yuqori bo'lmagan temperaturada har bir ionni erituvchi (suv) molekulari qurshab oladi. Bu hodisaga ionlarning solvatatsiyasi (erituvchi suv bo'lganda — gidrotatsiyasi) deb ataladi (94- rasm). Eritmaning temperaturasi ko'tarila borishi bilan xaotik harakatning intensivlanishi solvat (yoki gidrat) qobig'ini hosil qiluvchi ion va erituvchi molekulari orasidagi bog'lanishni buzadi. Shuning uchun temperatura ko'tarilganda solvat o'lchamlari tobora kichraya boradi va, nihoyat, yuqori temperaturada solvat qobiq yo'qoladi. *Modda eriganda erituvchi ta'sirida molekularning ionlarga ajralish jarayoni elektrolitik dissotsiatsiya deyiladi.* Eritilgan modda barcha molekularining ionlarga ajralgan ulushini ko'rsatuvchi son dissotsiatsiya darajasi deyiladi. Dissotsiatsiya darajasi eritmaning temperaturasi, konsentratsiyasi va erituvchining dielektrik kirituvchanligiga bog'liq bo'ladi. Temperatura ko'tarilgan sari dissosiasiya darajasi oshadi, binobarin, musbat va manfiy ionlarning soni ko'payadi, elektr o'tkazuvchanlik ortadi.



93- rasm.



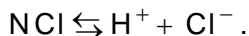
94- rasm.

Suyuqlik molekullari uzluksiz harakatda bo'lgani kabi hosil bo'lgan ionlar ham to'xtovsiz, tartibsiz harakatda bo'ladi. Agar turli ishorali zaryad bilan zaryadlangan ionlar bir-biriga ular orasida o'zaro tortishish kuchi ta'sir qiladigan darajada yaqinlashsa, u holda ular bu kuchlar ta'sirida birlashib, erigan moddaning neytral molekulasini hosil qilishi mumkin. *Musbat va manfiy ionlar birikib, neytral molekula hosil qilish jarayoni rekombinatsiya deb ataladi.*

Elektrolitlarda dissotsiatsiya jaryoni bilan rekombinatsiya jarayoni bir vaqtda bo'ladi. Eruvchi modda erituvchi moddada eriganda dastlab dissotsiatsiya jarayoni rekombinatsiyaga nisbatan kuchliroq bo'ladi. Ma'lum vaqtdan keyin, sharoit o'zgarmasa, eritmada *dinamik (harakatchan) muvozanat* yuzaga keladi, bu holatda vaqt birligi ichida dissosiyalanuvchi molekullarning soni rekombinatsiya tufayli hosil bo'luvchi neytral molekullarning soniga teng bo'ladi. Demak, *dinamik muvozanat o'rnatilganda eritmaning birlik hajmidagi ionlarning soni o'zgarmaydi.*

Shunday qilib, elektrolitlardagi erkin zaryadlar musbat va manfiy ionlardir. Vodorod va barcha metallarning ionlari hamma vaqt musbat zaryadlidir. Metallmaslar — kislota qoldiqlari va ishqor qoldiqlari ionlari manfiy zaryadlangan bo'ladi.

Dissotsiatsiya va rekombinatsiya jarayonlari shartli ravishda ushbu tenglama bilan ifodalanadi:



Strelkalar jarayon har ikkala yo'nalishda borishini ko'rsatadi.

44- §. Ionlarning harakatchanligi. Elektrolitik o'tkazuvchanlik

Tashqi elektr maydon bo'lmaganda elektrolit ionlari o'zlarining solvat qobiqlari bilan birga xaotik harakat qiladi, demak, tok nolga teng bo'ladi. Maydon bo'lganda ionlarning harakati tartiblanadi: musbat ionlar elektr maydon yo'nalishida v_+ qo'shimcha tezlik olib, katodga tomon harakatlanadi, manfiy ionlar esa maydon yo'nalishiga teskari yo'nalishda v_- qo'shimcha tezlik olib, anodga tomon harakatlanadi. Ionlarning tartibsiz harakatiga ularning maydon ta'siridagi ko'chma harakati qo'shiladi va elektrolitda turli ishorali ionlarning qarama-qarshi yo'nalishda ko'chishi tufayli elektr toki hosil bo'ladi. Bunday tur o'tkazuvchanlik ion o'tkazuvchanlik deb ataladi.

Elektrolitdagi tok zichligi nimalarga bog‘liq ekanligini ko‘rib chiqaylik, Elektrolitda ionga ikkita kuch: $\vec{F}_{el} = q\vec{E}$ elektr kuchi (bunda q – ion zaryadi, \vec{E} – elektr maydon kuchlanganligi) va muhitning \vec{F}_{ishq} ishqalanish kuchi ta’sir qiladi. Ionlar elektronlarga nisbatan yirikroq bo‘lgani va ular, ko‘pincha, solvat qobig‘i bilan birga harakat qilishlarini nazarga olsak, bunday mulohaza qilish xato bo‘lmaydi. Ravshanki, elektr kuchi ionlar harakatini tezlotsa, ishqalanish kuchi bu harakatni tormozlashga intiladi. Agar ionni uning solvat qobig‘i bilan birga r radiusli shar deb olsak, Stoks qonuniga ko‘ra, ishqalanish kuchi

$$F_{ishq} = 6\pi\eta r v$$

ga teng bo‘ladi, bunda: η – elektrolitning yopishqoqlik koeffitsiyenti, v – ionning tekis harakat tezligi. Barqarorlashgan harakatda (bu harakat amalda elektr maydon paydo bo‘lishi bilan bir vaqtda boshlanadi) $F_{el} = F_{ishq}$ bo‘ladi, u holda

$$6\pi\eta r v = qE, \text{ bundan } v = \frac{q}{6\pi\eta r} E, \quad (107)$$

bu yerda

$$u = \frac{q}{6\pi\eta r} \quad (108)$$

kattalik ionning harakatchanligi deyiladi. (107) formuladan $E = 1$ da $v = u$ ekanligi kelib chiqadi.

Demak, *birlik kuchlanganlikli elektr maydoni ta’sirida ionning qilgan tekis harakat tezligi ionning harakatchanligi* deb ataladi. (108)dan ko‘rinadiki, temperatura ortishi bilan suyuqlikning η yopishqoqlik koeffitsiyenti kamayishi hisobiga ionning harakatchanligi ortadi.

Elektrolitda zaryadlar har ikkala ishorali ionlar tomonidan olib o‘tilgani uchun tok zichligi

$$i = q_+ n_+ v_+ + q_- n_- v_-$$

ko‘rinishda ifodalanadi, bu yerda: q_+ va q_- – kation va anionlarning zaryadi, n_+ va n_- – bu ionlarning konsentratsiyasi (hajm birligidagi soni), v_+ va v_- – shu ionlarning maydon ta’siridagi tartiblangan harakatining o‘rtacha tezliklari. Eritma, umuman olganda, elektr jihatdan neytral ekanligini hisobga olsak, u holda

$$q_+ n_+ = q_- n_- = qn$$

deb yozish mumkin, bu yerda: q – ixtiyoriy ishorali ionning zaryadi, n – shu ishorali ionning konsentratsiyasi. Agar ionning valentligi z bo'lsa, u holda $q = ez$ bo'ladi, bunda e – elektron zaryadi. Shunday qilib, tok zichligi uchun

$$i = zen(v_+ + v_-) \quad (109)$$

munosabatni olamiz. (107) formulani nazarga olib, (109)ni quyidagicha ko'rinishda yoza olamiz:

$$i = ezn(u_+ + u_-)E \quad (110)$$

yoki $i = \gamma E$ ekanligidan, elektrolitning solishtirma o'tkazuvchanligi

$$\gamma = ezn(u_+ + u_-) \quad (111)$$

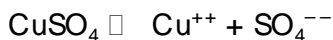
bo'ladi, bu yerda u_+ – musbat ionning, u_- – manfiy ionning harakatchanligi. (110) formula elektrolitlar uchun differensial ko'rinishdagi Om qonunini ifodalaydi. Unda elektrolitda tok zichligi ionlarning valentligiga, konsentratsiyasiga, harakatchanligiga, shuningdek, maydon kuchlanganligiga to'g'ri proporsional ekanligi kelib chiqadi. Elektrolitning solishtirma qarshiligi quyidagicha:

$$\rho = \frac{1}{\gamma} = \frac{1}{en(u_+ + u_-)} \quad (112)$$

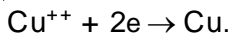
Bu munosabatdan ko'rinadiki, temperatura ko'tarilishi bilan ionlarning u harakatchanligi va n konsentratsiyasi ortganligi uchun elektrolitning qarshiligi kamayadi (eslatib o'tamiz, metallarda, aksincha, temperatura ortishi bilan o'tkazgichning elektr qarshiligi ham ortadi).

45- §. Elektroliz. Faradey qonunlari

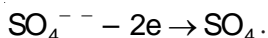
Agar elektrolitga elektrod tushirilsa va ularga potentsiallar farqi berilsa, ionlar tartibli harakatga keladi va elektr toki hosil bo'ladi. Ionlar tegishli elektrodga yetib borganda unga ortiqcha zaryadlarini berish yoki yetishmovchi zaryadlarini olish bilan neytral atom yoki molekullarga aylanadi. Elektrolit va elektrodning tabiatiga qarab neytrallangan ionlar yo elektrodlarda ajraladi, yo elektrod yoki erituvchi modda bilan kimyoviy reaksiyaga kirishadi. Neytrallangan ionlar kirishadigan kimyoviy reaksiyalar **i k k i l a m c h i r e a k s i y a** deb ataladi. Ikkilamcha reaksiya mahsulotlari elektrodlarda ajraladi yoki eritmaga o'tadi. Masalan, mis kuporosining suvdagi eritmasiga mis elektrodlar tushirilgan bo'lsin. Dissotsiatsiya



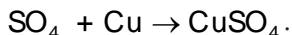
sxema bo'yicha ketadi. Mis ionlari katodga yetgandan keyin o'ziga yetishmaydigan ikkita elektronni katoddan olib, neytral mis atomiga aylanadi:



Mis atomlari katodda qattiq cho'kindi ko'rinishda ajralib chiqadi. Manfiy SO_4^{--} ion esa anodga yetib kelgandan so'ng unga o'zidan ikkita ortiqcha elektronni berib, neytral kislota qoldig'iga aylanadi:



SO_4 birikma suvga qaraganda mis bilan yaxshiroq reaksiyaga kirishadi. Shuning uchun ham ikkilamchi reaksiya anod materiali – mis bilan bo'ladi:



Hosil bo'lgan molekula elektrolitga tushadi. Shunday qilib, mis kuporosining suvdagi eritmasidan tok o'tganda mis anodning erishi (kamayishi) va misning katodga o'tirib qolishi sodir bo'ladi, ammo elektrolit tarkibi o'zgarmaydi.

Elektrolit orqali tok o'tganda elektrolitning elektrodalarda tarkibiy qismlarga ajralish jarayoni *elektroliz* deb ataladi. Elektroliz hodisasini 1836- yilda ingliz fizigi Faradey mufassal o'rgandi va quyidagi ikkita qonunni kashf etdi:

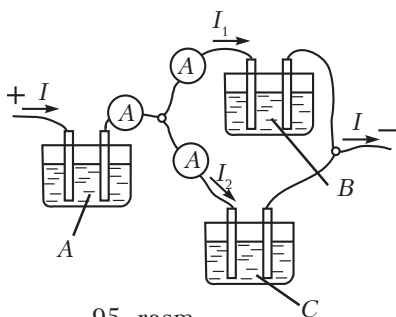
1. Faradeyning birinchi qonuni: *elektrodda ajralib chiqqan modda miqdori elektrolit orqali o'tgan zaryad miqdoriga to'g'ri proporsionaldir :*

$$m = kq = kIt , \quad (113)$$

bu yerda: $q = It$ – ionlar t vaqt ichida olib o'tgan zaryad miqdori, m – ajralgan modda massasi, k – proporsionallik koeffitsiyenti bo'lib, uni moddaning *elektrokimyoviy ekvivalenti* deb ataladi.

$q = 1$ bo'lganda k son jihatdan m ga teng bo'ladi. Demak, *elektrokimyoviy ekvivalent elektrolit orqali bir birlik zaryad o'tganda ajralgan modda massasini bildiradi*. CI da uning

$$[k] = \frac{[m]}{[q]} = \frac{\text{kg}}{\text{C}}$$



95- rasm.

Faradeyning birinchi qonunining to'g'riligiga ishonch hosil qilish uchun uchta vannada olingan bir xil elektrolitlarni 95- rasmida ko'rsatilgan sxema bo'yicha ulaganimizda, ayni bir vaqt ichida I tok o'tgan vannada ajralib chiqqan modda massasi I_1 va I_2 toklar o'tayotgan vannalarda ajralib chiqqan modda massalarining yig'indisiga teng bo'lib chiqadi. Chunki umumiy I tok I_1 va I_2 toklarga ajraladi. Bundan ko'rinadiki, elektrodda ajraluvchi modda massasi haqiqatan ham elektrolitdan o'tuvchi zaryad miqdoriga to'g'ri proporsional bo'lar ekan. Biz kuzatayotgan elektrolitlar bir xil bo'lgani uchun uchala vannada ham ajraluvchi moddaning elektrokimyoviy ekvivalenti bir xil bo'ladi.

2. Faradeyning ikkinchi qonuni moddaning elektrokimyoviy ekvivalentini uning kimyoviy ekvivalenti bilan bog'laydi.

Son jihatdan berilgan element massasiga teng bo'lgan, grammlar (yoki kilogrammlar)da ifodalangan kimyoviy birikmalarda 1,0078 gramm (yoki kilogramm) vodorodning o'rnini bosadigan o'lchamsiz kattalik elementning kimyoviy ekvivalenti deb ataladi.

Kimyoviy birikmalarda elementning bitta atomi bilan o'rin almashinadigan vodorod atomlari soni elementning valentligi (n) deb ataladi. Bir valentli element uchun kimyoviy ekvivalent uning atom og'irligi (A) ga, n valentli element uchun esa kimyoviy ekvivalent $\frac{A}{n}$ ga teng. *Massasi grammlarda ifodalangan, son jihatdan kimyoviy ekvivalentga teng bo'lgan element miqdori gramm-ekvivalent (g-ekv) deb ataladi. Massasi $\frac{A}{n}$ kilogrammga teng bo'lgan modda miqdori kilogramm-ekvivalent (kg-ekv) deb ataladi.*

Faradeyning ikkinchi qonuni quyidagicha ta'riflanadi: *barcha moddalarning elektrokimyoviy ekvivalentlari ularning kimyoviy ekvivalentlariga to'g'ri proporsionaldir:*

hisobida o'lchanishi (113) formuladan kelib chiqadi. Amalda k ning $\frac{mg}{C}$ birligi ishlatiladi. Massa va zaryadning kattaligini o'lchab, turli moddalarning elektrokimyoviy ekvivalentini aniqlash mumkin. Moddalarning elektrokimyoviy ekvivalenti jadvallarda beriladi.

Faradeyning birinchi qonunining

$$k = C \frac{A}{n} \quad (114)$$

Proporsionallik koeffitsiyenti C barcha moddalar uchun bir xil qiymatga ega. C doimiyga teskari bo'lgan kattalik Faradey soni deyiladi va F bilan belgilanadi:

$$F = \frac{1}{C}$$

Demak, bularni e'tiborga olganimizda, Faradeyning ikkinchi qonuni quyidagicha ifodalanadi:

$$k = \frac{1}{F} \cdot \frac{A}{n} \quad (115)$$

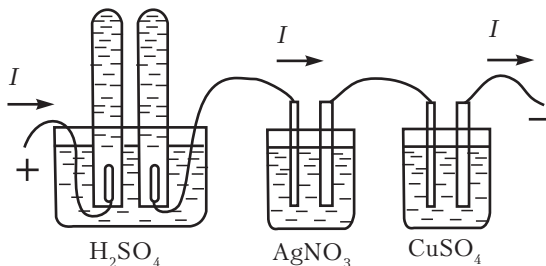
k ning ifodasini (113) formulaga qo'yamiz:

$$m = \frac{1}{F} \cdot \frac{A}{n} \cdot q \quad (116)$$

Bu formula Faradeyning birlashgan qonunini ifodalaydi. Bu formuladan ko'rinadiki, agar q zaryad son jihatdan F Faradey soniga teng bo'lsa, u holda m massa son jihatdan $\frac{A}{n}$ ga teng bo'ladi. Bundan *elektrodlarda kimyoviy ekvivalentga son jihatdan teng bo'lgan modda massasi ajralib chiqishi uchun elektrolitdan Faradey soniga teng miqdorda zaryad o'tishi kerak*, degan xulosa kelib chiqadi. Tajriba yo'li bilan

$$F = 96500 \frac{C}{\text{g-ekv}} = 96500 \frac{C}{\text{mol}}$$

ekanligi aniqlangan, ya'ni elektroliz vaqtida bir gramm-ekvivalent modda ajralishi uchun elektrolitdan 96500 C zaryad o'tishi kerak.



96- rasm.

Faradeyning ikkinchi qonunining to'g'riligiga ishonch hosil qilish uchun 96- rasmda ko'rsatilgandek, uch xil elektrolit solingan uchta vannani ketma-ket ulab, ulardan tok o'tkazamiz. Ayni bir t vaqt davomida uchala vannadan ham bir xil miqdorda $q = It$ zaryad o'tadi. Bunda elektrolarlarda ajralgan moddalarning massalarini tortganimizda, ularning kimyoviy ekvivalentga bog'liq holda har xil qiymatga ega bo'lishini ko'rish mumkin. Shu yo'l bilan elektroliz vaqtida ajralgan modda miqdorining kimyoviy ekvivalentga proporsional ekanligiga ishonch hosil qilamiz.

46- §. Elektronning zaryadini aniqlash

Faradey qonunlari elektron nazariyaning yaratilishida muhim rol o'ynadi. Faradeyning birlashgan qonunini ifodalovchi (116) formuladan ko'rinadiki, agar $q = F$ bo'lsa, $m = \frac{A}{n}$ bo'ladi, demak, elektroliz vaqtida elektrodda har qanday moddaning bir gramm-ekvivalenti ajralishi uchun elektrolit orqali juda muayyan elektr miqdori, son jihatdan F Faradey soniga teng bo'lgan elektr miqdori o'tishi kerak.

Bizga ma'lumki, istalgan moddaning gramm-ekvivalentidagi atomlar soni $N = \frac{N_A}{n}$ ga teng, bu yerda N_A — Avogardo soni, n — elementning valentligi. Shunday qilib, elektrodda ajralgan har bir ion elektrolit orqali

$$q = \frac{F}{N} = \frac{F}{N_A} n \quad (117)$$

zaryad miqdorini olib o'tadi. Elektrolitlar o'tkazuvchanligi ion o'tkazuvchanlik ekanligini bilamiz (43- § ga qarang). Demak, (117) dan ko'rinadiki, elektrolit orqali har bir kimyoviy element ioni uning n valentligiga proporsional bo'lgan q zaryad olib o'tadi. Ionning eng kichik zaryadi bir valentli ionning ($n = 1$) zaryadiga mos keladi, ya'ni

$$e = \frac{F}{N_A} \quad (118)$$

Kimyoviy element valentligi n butun son bilan ifodalanadi, shu sababli elektrolit orqali har bir ion olib o'tadigan q zaryad $q = ne$, ya'ni eng kichik e zaryadga butun karrali bo'ladi. Shunday qilib, Faradey qonunlari moddaning atom nazariyasi bilan birgalikda

elektrning atom tuzilishi haqidagi tasavvurga olib keladi. Nemis fizigi G. Gelmgols va irland fizigi va matematigi S. Stoney bir vaqtda (1881- yilda) va bir-biridan mustaqil ravishda elektrning atom (diskret) tabiati haqidagi g'oyani ilgari surdilar. Moddaning har bir atomi e eng kichik zaryadga karrali zaryadni yo'qotishi yoki qabul qilishi mumkin. Bu e eng kichik zaryad elementar zaryad deb ataladi va elektron zaryadiga teng bo'ladi. Agar atom yoki molekula bir yoki bir necha ortiqcha elektron qabul qilsa, manfiy ion hosil bo'ladi, elektronini yo'qotgan atom yoki molekula musbat ionga aylanadi.

(118) munosabat F Faradey soni va N_A Avogadro soni orqali elektron zaryadini aniqlashga imkon beradi:

$$e = \frac{96500C}{6,023 \cdot 10^{23}} = 1,601 \cdot 10^{-19} C.$$

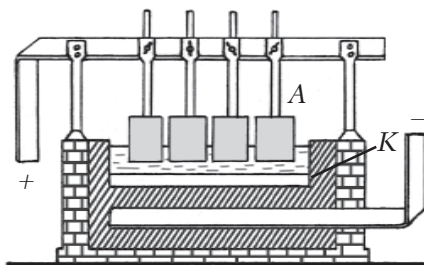
Bu kattalik elektron zaryadining hozir qabul qilingan qiymati bilan mos keladi.

Keyinchalik elektrning atom tabiati namoyon bo'ladigan boshqa hodisalar ham ochildi va elementar manfiy zaryad – elektron zaryadini o'lchashning turli boshqa usullari topildi. Bu o'lchashlarning barchasi elektron zaryadi miqdori uchun Faradey qonunlaridan olingan qiymat bilan bir xil qiymatni berdi. Bu hol biz yuqorida (43- § ga qarang) tavsiflagan elektrolit orqali tok o'tishi ion mexanizmining to'g'riligini isbotlaydi.

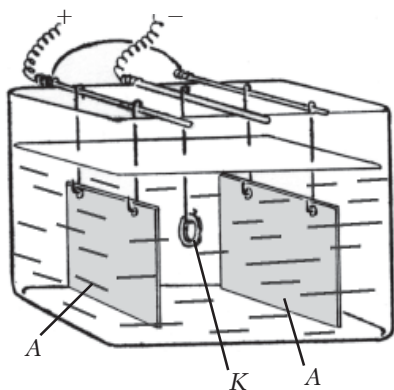
47- §. Elektrolizning texnikada qo'llanilishi

Texnikada elektroliz turli maqsadlarda keng qo'llaniladi. Ulardan muhimlari quyidagilardir:

1. *Elektrometallurgiya.* Eritilgan rudalarni elektroliz qilish yo'li bilan aluminiy, natriy, magniy, berilliy va boshqa nodir metallar ajratib olinadi. Masalan, aluminiy olish uchun xomashyo bo'lib loy tuproqqa ega bo'lgan mineral boksitlar (Al_2O_3) xizmat qiladi. Elektrodlar sifatida ko'mir plastinkalar qo'llaniladi (97- rasm). Tok o'tganda ajralgan issiqlik hisobiga rudalar erigan holatda ushlab turiladi.



97- rasm.



98- rasm.

Shuningdek, sanoatda, texnikada ko'p ishlatiladigan toza metallar asosan elektroliz yordamida olinadi. Bunday usul bilan kimyoviy jihatdan toza metall olish rafinlash deb ataladi. Masalan, elektrolitik mis olish uchun elektrolit sifatida mis kuporosining suyultrilgan sulfat kislotadagi eritmasi olinadi. Yupqa mis plastinkalari elektrodlar sifatida ishlatiladi. So'ngra elektrolitdan katodning har bir

kvadrat metriga 250 A dan oshmaydigan qilib tok o'tkaziladi. Toza mis katodga o'tirib qoladi, anod esa bu vaqtda erib ketadi, bunda faqat mis eriydi, aralashmalari esa g'ovak cho'kma hosil qilib, asta-sekin vannaning tubiga cho'kadi. Oltin, kumush, rux, qalay va boshqa metallar ham shu tariqa rafinlanadi.

2. *Galvanostegiya*. Elektroliz yordamida metall buyumlarni boshqa metallning yupqa qatlami bilan qoplash galvanostegiya deb ataladi. Masalan, buyumlarni nikellash, kumushlash, oltin suvi yuritish, xromlash va shunga o'xshashlar galvanostegiya yo'li bilan amalga oshiriladi. Buning uchun buyum elektrolitga katod sifatida joylashtiriladi. Buyumni qoplaydigan metall tuzining suvdagi eritmasi elektrolit vazifasini bajaradi. Elektrolitdan tok o'tkazilganda mazkur buyumni qoplashi kerak bo'lgan metall buyum sirtiga qatlam hosil qilib o'tirib qoladi (98- rasm).

3. *Galvanoplastika*. Relyefli buyumlarning metall nusxasini olish galvanoplastika deb ataladi. Buning uchun nusxasi olinadigan sirt ustiga oson eruvchi suyuq metall quyiladi. Qotgach, u olinadi va bunda sirt teskari tasvirining nusxasi hosil bo'ladi. Nusxaga elektrolitik usul bilan ancha qiyin eruvchi metall qoplami yotqiziladi, so'ngra nusxa eritib yuboriladi. Shunday usul bilan, masalan, medal, tangalarning nusxasi olinadi, tipografiya klishe-lari tayyorlanadi va hokazo.

4. *Elektr ta'sirida silliqdash*. Bunda metallarning sirti elektroliz yo'li bilan silliqlanadi. Sirti silliqlanadigan buyum vannaga anod o'rnida joylashtiriladi va vannaga buyum yasalgan metall tuzining eritmasi solinadi. Elektroliz paytida anodning g'adir-budur joylaridan ko'proq modda erib, eritmaga o'tib ketadi, ya'ni buyum silliqlanadi.

48- §. Galvanik element

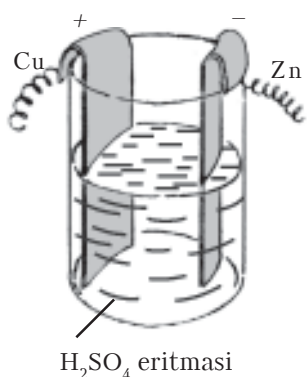
24- § da qayd qilinganidek, elektr zanjiridan elektr toki uzluksiz oqib turishi uchun zanjirda EYK manbai yoki EYK generatori bo'lishi kerak. Shuningdek, zanjirdan tok o'tganda o'tkazgich qiziydi, tok energiyasi issiqlik energiyasi ko'rinishida uzluksiz ajralib turadi. Bu energiyani EYK generatorida ro'y beradigan u yoki bu jarayonlarda ajralib chiqadigan energiya hisobiga to'ldirib boriladi.

Elektr tokini o'rganish va undan amalda foydalanish imkoniyatini ochib bergan birinchi EYK generatori (albatta, elektrofor mashinasidan so'ng) galvanik element hisoblanadi. Elektr zanjirida sarflanadigan energiya galvanik elementda kechadigan kimyoviy jarayonlar natijasida ajraladigan energiya hisobidan to'ldirilib boriladi. Bunday kimyoviy elementni birinchi marta italyan fizigi A. Volta 1799- yilda ixtiro qilgan. Volta tajribalar asosida turli o'tkazgichlar (masalan, ikki xil metallni) bir-biriga tekkizganda ularning o'zaro zaryadlanishini aniqlagan: o'tkazgichlarning yondoshish chegarasida metallarning birida manfiy zaryadlar (ortiqcha elektronlar mavjud), ikkinchisida esa musbat zaryadlar (elektronlar yetishmaydi) to'planadi. Metallarning kontakt sohasida zaryadlarning ajralishi EYK vujudga kelganini bildiradi. Bunday jarayondan foydalanib tok manbai qurish g'oyasi tug'iladi. Voltaning ilmiy izlanishlariga italyan shifokori va anatomi L. Galvanining tajribalari turtki bo'lgani sababli tok manbayini uning sharafiga galvanik element deb ataldi.

Volta o'z tajribalarida tok o'tganda hech qanday kimyoviy o'zgarishlar ro'y bermaydigan bir jinsli o'tkazgichlardangina berk zanjir tuzish bilan galvanik element olish mumkin emasligini aniqladi (50- § ga qarang).

Lekin zanjirning hech bo'lmaganda bir qismi ikkinchi jins o'tkazgichdan iborat bo'lsa, boshqacha holat ro'y beradi. Tok o'tganda bu ikkinchi jins o'tkazgich tarkibidagi kimyoviy o'zgarishlar qator kimyoviy aylanishlarni boshlab berishi, natijada zanjirni tashkil etuvchi jismlarning ichki (kimyoviy) energiyasining kamayishi va bu energiya hisobiga zanjirda elektr tokini saqlab turish mumkin bo'ladi. Bunday jarayonlarni, masalan, Volta elementi deb ataladigan galvanik element misolida ko'rib chiqaylik.

Volta elementida mis va rux plastinkalar (elektrodlar) H_2SO_4 sulfat kislotasining H_2O suvdagi eritmasiga tushirilgan (99- rasm).



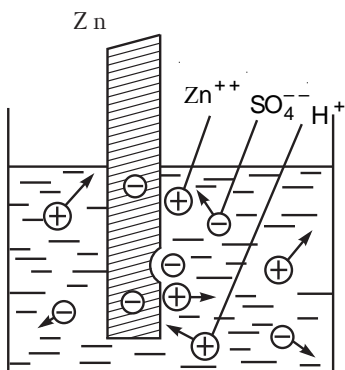
99- rasm.

49- §. Daniyel elementi

Daniyel elementi ingliz olimi va ixtirochisi J. Daniyel tomonidan 1836- yilda ixtiro qilingan bo'lib, birinchi barqaror o'zgarimas tok manbai hisoblanadi. Bu elementda anod vazifasini CuSO_4 mis kuporosi eritmasiga botirilgan mis elektrod, katod vazifasini ZnSO_4 rux kuporosi eritmasiga botirilgan rux elektrod bajaradi. Eritmalar bir-biri bilan tez aralashib ketmasligi uchun ular kuydirilmagan gil (loy)dan yasalgan g'ovak to'siq bilan ajratiladi. Elementning bunday tuzilishi uni uzoq vaqt bir tekis ishlashini ta'minlaydi. Daniyel elementining EYK 1,09 V ga teng.

Endi galvanik elementda EYK va elektr toki qanday vujudga kelishini ko'rib chiqaylik.

Galvanik element uzoq muddat davomida tok berib tursa, elektrodlardan biri asta-sekin sarflanib (erib) borishini tajribalar

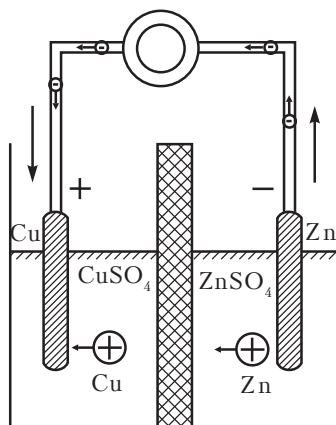


100- rasm.

Elektrodlarni o'zaro sim o'tkazgich bilan tutashtirilsa, hosil bo'lgan berk zanjirda elektr toki vujudga keladi. Volta elementining EYK boshida 1,1 V ga teng bo'lsa ham, lekin element ishlatilganda, ba'zi sabablarga ko'ra, EYK tezda kamayib ketadi (50- § ga qarang). Shuning uchun amalda Volta elementidan farqli ravishda birinchi va ikkinchi jins o'tkazgichlari boshqacha tanlangan elementdan, masalan, Daniyel elementidan foydalaniladi.

ko'rsatadi. Bundan galvanik element EYKning vujudga kelishi metallning erishi bilan bog'liq ekan, degan xulosaga kelish mumkin. Ammo bunda eritmaga metallning neytral atomlari emas, balki uning musbat ionlari o'tadi, ortiqcha elektronlar esa metallda qolib uni manfiy zaryadlaydi (100-rasm). (Metallarning eritmaga ion holida o'tish qobiliyati metallar erishining elektrolitik elastikligi yoki qisqacha erish elastikligi deb ataladi.) Ammo bu

jarayon tezda to'xtaydi, chunki eritmada musbat ionlarning konsentratsiyasi ortib borgan sari metallni o'rab turgan ionlar issiqlik harakati tufayli elektrodga kelib, undagi ortiqcha elektronlar bilan neytrallashadi va elektrod sirtida ajraladi. Tezda muvozanat o'rnatiladi: biror vaqt davomida eritmaga o'tayotgan ionlar soni shu vaqt davomida eritmadan elektrodga o'tirayotgan ionlar soniga teng bo'ladi. Bu muvozanat holatga metall bilan eritma orasida faqat metall bilan



101- rasm.

erituvchining tabiatiga hamda eritma konsentratsiyasiga bog'liq bo'lgan muayyan bir potentsiallar farqi mos keladi.

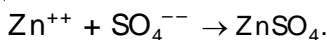
Shuni qayd etish kerakki, elektrolitlar bilan yondoshgan barcha metallar manfiy, elektrolitlar esa musbat zaryadlanadi.

Daniyel elementi misolida galvanik elementning berk zanjirida zaryadlarning harakati qanday bo'lishini va bu harakat qanday saqlanib turishini ko'rib chiqaylik. Bu maqsadda Daniyel elementining sxematik tasviridan foydalanamiz (101- rasm). O'ng kamerada rux elektrod ZnSO₄ tuzining eritmasiga, chap kamerada mis elektrod CuSO₄ tuzining eritmasiga tushirilganligi, kameralar g'ovak to'siq bilan ajratilganligi rasmdan ko'rinib turibdi. Element ochiq bo'lganda (elektrodlar bir-biriga ulanmaganda) har bir elektrod bilan unga yondoshgan elektrolit orasida muvozanat holat o'rnatilgan bo'lib, yuqorida qayd etilganidek, bu holatga mos potentsiallar farqi vujudga keladi.

Endi mis va rux elektrodnlarni sim o'tkazgich vositasida bir-biri bilan tutashtiraylik (101- rasimga qarang). Ruxning erish elastikligi misnikiga nisbatan solishtirib bo'lmaydigan darajada katta, shuning uchun rux plastinka mis plastinkaga nisbatan ko'proq manfiy zaryadlanadi. Natijada mis va rux elektrodlar orasida potentsiallar farqi yuzaga keladi. Shu sababli zanjirning tashqi qismida elektronlar past potentsialli rux elektroddan yuqori potentsialli mis elektrodga tomon oqa boshlaydi. Bu esa ikkala kamerada muvozanat holatining buzilishiga olib keladi. Elektronlar ketishi tufayli rux elektrodda manfiy zaryad miqdori kamayadi va aksincha, elektronlar kelishi tufayli mis elektrodda manfiy zaryadlar ko'payadi. Rux eritmaga

yangi ionlar chiqarish yo‘li bilan muvozanatni tiklashga intiladi — o‘ng kamerada rux eriy boshlaydi. Eritmaga qo‘shimcha Zn^{++} rux ionlari o‘tadi, elektronlar esa elektrodning kamayib borayotgan zaryadini to‘ldirish uchun unda qoladi. Chap kamerada, aksincha, Cu^{++} mis ionlari mis elektrodga kelib, undagi ortiqcha elektrolit bilan birikadi va neytral atom ko‘rinishida elektrodga o‘tiradi. Shunday qilib, rux elektrodning erishi va mis atomlarining mis elektrodga ajralishi bu elektrodlar orasidagi potentsiallar farqini doimiy saqlab turadi va zanjirda uzoq vaqt davomida o‘zgarmas tok oqadi.

Bu bayon etilgan jarayondan ko‘rinadiki, o‘ng kamerada ortiqcha rux ionlari, chap kamerada ortiqcha SO_4^{--} kislota qoldig‘i ionlari to‘planadi. Ammo g‘ovak to‘siq orqali SO_4^{--} ionlari o‘ng kameraga sizib o‘tadi va Zn^{++} ionlari bilan birikib, $ZnSO_4$ rux sulfat tuzini hosil qiladi:



Natijada o‘ng kamerada $ZnSO_4$ ko‘payadi, chap kamerada $CuSO_4$ kamayadi.

Agar element shunday sharoitda uzoq muddat ishlasa, u holda o‘ng kamerada $ZnSO_4$ ning konsentratsiyasi to‘yinish holatigacha ko‘tarilib, eritmada tubiga $ZnSO_4$ kristallari cho‘ka boshlaydi, chap kamerada esa $CuSO_4$ ning konsentratsiyasi juda kamayib ketishi va, oqibatda elementning EYK noligacha pasayib ketishi mumkin. Shu sababli, bunday hol yuz bermasligi uchun va element uzoq muddat ishlab turishini ta‘minlash maqsadida eritmaga $CuSO_4$ ning zaxirasi kiritiladi.

Shunday qilib, galvanik elementning tashqi zanjirida (sim o‘tkazgichda) elektronlar rux elektrodan mis elektrodga tomon, elektrolitda manfiy ionlar (SO_4^{--} — anionlar) mis elektrodan rux elektrodga tomon, musbat ionlar (Cu^{++} va Zn^{++} — kationlar) rux elektrodan mis elektrodga tomon harakatlanadilar va butun zanjir bo‘ylab zaryadlarning uzluksiz aylanib turishi saqlanib turadi. Zaryadlarning bu oqimi zanjir bo‘yicha oqib turuvchi umumiy tokni hosil qiladi.

Boshqa galvanik elementlarda ham EYK va tok hosil bo‘lishi jarayonlari asosan Daniyel elementidagi jarayonlar kabi sodir bo‘ladi.

Texnikada ko‘proq suv quyiladigan va quruq L e k l a n s h e elementlari ishlatiladi. Suv quyiladigan Leklanshe elementida

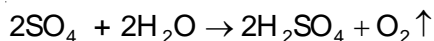
elektrodlar sifatida rux va ko‘mir sterjen, elektrolit sifatida esa NH_4Cl novshadil eritmasi ishlatiladi. Quruq Leklanshe elementiga suv quyishga ehtiyoj yo‘q, chunki unga kraxmal bilan quyultirilgan novshadil eritmasidan iborat tayyor elektrolit solingan bo‘ladi.

50- §.Elektrodlarning qutblanishi

48- § da Volta elementidan amalda foydalanish noqulay, chunki elementning EYK tezda kamayib ketishini qayd qilib o‘tgan edik. Nima uchun shunday? Qanday sabablarga ko‘ra Volta elementi o‘zgaras tok manbai bo‘la olmaydi? — degan savollar tug‘ilishi tabiiy.

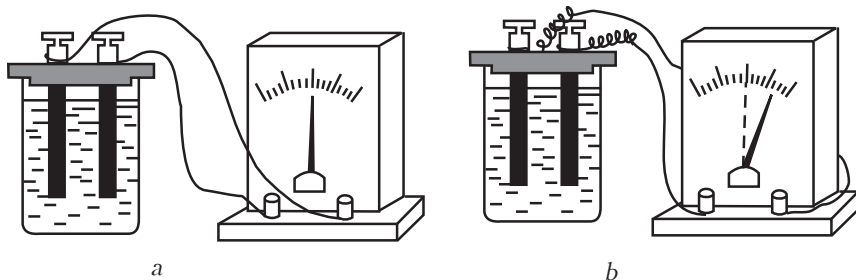
Bu savollarga quyidagi tajriba vositasida javob topish mumkin.

H_2SO_4 sulfat kislotasining suvdagi eritmasiga bir xil (masalan, ko‘mir yoki platina) elektrodlarni botirib, ularni ampermetrga ulaylik (102- a rasm). Zanjir berk bo‘lsa ham ampermetr hech qanday tokni ko‘rsatmaydi. Bunday bo‘lishi ajablanarli emas, chunki bir xil (ko‘mir-ko‘mir yoki platina-platina) elektrodlar orasida hatto elektrolitga botirilgan bo‘lsa ham potensiallar ayirmasi hosil bo‘lmasligini bilamiz (48- § ga qarang). Endi ko‘mir elektrodlarni ampermetrdan uzib, ularni galvanik elementga yoki biror tok generatoriga ulaylik. Shu ondayoq sulfat kislotasining elektrolizi boshlanadi. Elektrodlardan biri — katodda H_2 vodorod ajraladi. SO_4 kislota qoldig‘i suv bilan quyidagicha reaksiyaga kirishadi:



va anodda O_2 kislorod ajraladi. Shunday qilib, katod vodorod pufakchalari bilan, anod esa kislorod pufakchalari bilan qoplanadi.

Endi elektrodlarni tok generatoridan uzib, ularni yana ampermetrga ulaylik. Zanjirdan sezilarli darajada tok o‘tayotganini ampermetr ko‘rsatadi (102- b rasm): tok kislorod pufakchalari bilan



102- rasm.

qoplangan elektroddan vodorod pufakchalari bilan qoplangan elektrodga tomon oqadi. Biroq, hosil bo'lgan tok tezda susayib boradi, u bilan birga elektrodlardagi gazlar ham kamayib boradi. Gazlar butunlay tamom bo'lganda tok ham to'xtaydi.

Bu tajribani quyidagicha tushuntirish mumkin. Elektrolizdan so'ng ikkala elektrod bir xil tabiiatli bo'lmay qoladi: ulardan biri „kislorod“ elektrodga, ikkinchisi esa „vodorod“ elektrodga aylanadi. Shuning uchun ikkala elektrodning elektrolitga nisbatan potentsiali ham turlicha bo'ladi. Shu sababli elektrodlar ampermetr orqali tutashtirilganda ular orasida potentsiallar farqi yuzaga keladi va tok o'ta boshlaydi. Ko'mir elektrodlar go'yo galvanik element qutblariga o'xshab qoladi. *Elektrodlarning eritmalar elektrolizida o'zgarishi elektrodlarning qutblanishi, qutblanish tufayli vujudga keladigan EYK – qutblanish EYK* deb ataladi.

Volta elementida ham xuddi shunday hodisa ro'y beradi. Demak, Volta elementida tokning tezda susayishiga uning elektrodlarining qutblanishi sabab bo'ladi.

Yuqorida aytilganlardan ko'rinadiki, galvanik elementlarda elektrodlarning qutblanishi zararli ekan. Qutblanish EYKning zararli ta'sirini bartaraf etish uchun ikkita usuldan foydalaniladi. Birinchi usulda elementda elektrodlar va elektrolit shunday tanlanadiki, bunda elektrodlarning qutblanishi amalga oshmaydi; ikkinchi usulda esa kuchli oksidlovchi modda – qutbsizlagichlardan foydalaniladi. Ularning ta'sirida vodorod kislorod bilan birikib suv hosil qiladi, elektrodda gaz ajralmaydi. Masalan, birinchi usuldan Daniyel elementida, ikkinchi usuldan Leklanshe quruq elementida foydalanilgan.

51- §. Akkumulatorlar

Galvanik elementlar uchun zararli bo'lgan qutblanish hodisidan maqsadga muvofiq foydalanish mumkin ekan. 1860- yili fransuz fizigi G. Plante qutblanish EYKdan foydalanib amalda elektr tokini hosil qilish mumkinligini ko'rsatdi. U H_2SO_4 sulfat kislotasi eritmasiga botirilgan ikkita qo'rg'oshin elektrodli element yasadi. Ravshanki, bunday holatda element EYKga ega bo'lmaydi, chunki ikkala elektrod ham bir xil metallardan yasalgan. Ammo bunday elementdan biroz vaqt davomida tashqi manbadan o'zgarimas tok o'tkazilsa, u holda elektrodlarda elektrod moddasi bilan reaksiyaga kirishuvchi elektroliz mahsulotlari ajraladi. Shu sababli elektrodlar kimyoviy tarkibi bo'yicha turlicha bo'lib qoladi va

taxminan 2V ga teng EYK vujudga keladi. Bunday holatda elementning o'zi tok manbayi bo'la oladi va tashqi zanjirga ulanganda biror vaqt davomida elektr toki oqib turadi.

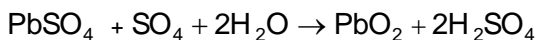
Shunday qilib, Plante elementida EYK vujudga kelishi uchun u orqali o'zgarish tok manbayidan tok o'tkazish zarur ekan. Bu jarayonni elementni zaryadlash deb ataladi.

Qutblanish hodisasidan foydalanadigan Plante elementi va shu kabilar ikkilamchi elementlar yoki akkumulatorlar deb ataladi, chunki ularda energiya to'plash (akkumulatsiya qilish) imkoniyati mavjud.

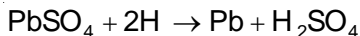
Demak, *akkumulatorlar elektr energiyasini yig'ish qobiliyatiga ega bo'lgan asboblardir*. Biroq, akkumulator amaliy ahamiyatga ega bo'lishi uchun ikki shartni qanoatlantirishi: 1) elektrodning qutblanishi turg'un bo'lishi va 2) akkumulatorda bo'ladigan jaryonlar qaytuvchan bo'lishi zarur. Birinchi shart akkumulator ishlatilmaganda uning o'z-o'zidan razryadlanmasligi uchun zarurdir. Ikkinchi shart esa, akkumulatorning kelgusida ishga yaroqsiz qilib qo'yadigan o'zgarishlar bo'lmasligi uchun zarurdir.

Plante elementining zaryadlanishida qanday jaryonlar ro'y berishini ko'rib chiqaylik.

Yuqorida qayd etilganidek, Plante elementi sulfat kislotasining eritmasiga botirilgan ikkita qo'rg'oshin plastinkadan iborat. Plastinkalar sulfat kislota bilan reaksiyaga kirishib, sirtlari $PbSO_4$ qo'rg'oshin sulfat qatlami bilan qoplanadi. Akkumulator orqali tashqi manbadan elektr toki o'tkazilganda (akkumulatorni zaryadlashda) manfiy ionlar anod tomonga ko'cha boshlaydi va quyidagicha



reaksiyaga kirishib, $PbSO_4$ qo'rg'oshin sulfatni PbO_2 qo'rg'oshin peroksidiga aylantiradi. H^+ musbat ionlar katod tomonga ko'cha boshlaydi va ushbu



reaksiyaga kirishib, $PbSO_4$ qo'rg'oshin sulfatni Pb metallga aylantiradi. Shunday qilib, akkumulator zaryadlanganda elektrodning keskin nosimmetriyasi vujudga keladi: elektrodlardan biri qo'rg'oshindan, ikkinchisi esa qo'rg'oshin peroksididan iborat bo'lib qoladi. Akkumulator zaryadlandi, endi tok manbayi sifatida ishlatilishi mumkin.

Tashqi zanjirga tok borayotganda akkumulator razryadlanadi: unda jaryonlar teskari tartibda boradi. Razryadlanish oxirida har

ikkala plastinka qo'rg'oshin peroksidining bir xil qalinlikdagi qatlami bilan qoplanib qoladi.

Akkumulator energiyasi tugagandan so'ng undan tok o'tkazib qayta zaryadlash va bu jaryonni ko'p marta takrorlash mumkin.

Zaryadlangan akkumulatoridan olish mumkin bo'lgan eng katta elektr miqdori akkumulator sig'imi deb ataladi. Bu kattalik amper-soatlarda o'lchanadi ($1 \text{ amper-soat} = 1 \frac{\text{C}}{\text{s}} \cdot 3600\text{s} = 3600\text{C}$).

Akkumulator plastinkalarining yuzasi qancha katta bo'lsa, ularda shuncha ko'p elektroliz mahsuloti o'tiradi, demak, razryadlanishda akkumulatorning sig'imi shuncha katta bo'ladi. Shuning uchun akkumulator plastinkalariga ularning yuzasini kattalashtiradigan maxsus shakl beriladi.

Amalda qo'rg'oshin (kislotali) akkumulatorlar bilan bir qatorda temir-nikel (ishqorli) akkumulatorlar ham keng qo'llaniladi.

Hozirgi zamon elektrotexnikasida akkumulatorlar muhim rol o'ynaydi. Xususan, nagruzka bilan (iste'molchi bilan) bir tekis ta'minlanmagan stansiyalarda dinamomashinalar bilan bir qatorda akkumulatorlar batareyasi ham o'rnatiladi. Stansiyaning nagruzkasi kam bo'lgan vaqtlarda dinamomashina ishlab chiqarayotgan energiyaning bir qismi akkumulatorlarni zaryadlash uchun sarflanadi, nagruzka katta bo'lgan vaqtlarda esa bu akkumulatorlar mashinalar bilan birga tarmoqni tok bilan ta'minlashda ishtirok etadi. Xuddi shu kabi, shamoldan foydalanib ishlaydigan elektr stansiyalarda hamma vaqt akkumulatorlar o'rnatilgan bo'ladi. Shamol esgan vaqtda akkumulatorlar zaryadlanadi, so'ng energiya zaxirasini meteorologik sharoitdan qat'iy nazar kerakligicha sarflaydi.



Takrorlash uchun savollar

1. Rikke tajribasining fizik mazmunini tushuntiring.
2. Metallarda erkin elektronlar mavjudligini isbotlovchi Styuart va Tolmen tajribasini tushuntiring.
3. Nima uchun erkin elektronlar o'tkazuvchanlik elektronlari deb ataladi?
4. Metallar qarshiligini keltirib chiqaruvchi qanday sabablarni bilasiz?
5. „Elektron gaz“ deganda Siz nimani tushunasiz?
6. Klassik elektron nazariyaga asosan erkin elektronlarning issiqlik harakati tezligi qanday hisoblanadi? Elektr maydon ta'siridagi tartibli harakat tezligi-chi?
7. Klassik elektron nazariyaga asosan Om qonunini tushuntiring.
8. Elektronning chiqish ishi deb nimaga aytiladi va u qanday birlikda o'lchanadi?
9. Elektrolit deb nimaga aytamiz?
10. Elektrolitik dissotsiatsiya qanday jarayon? Rekombinatsiya-chi?
11. Nima uchun temperatura ortishi

bilan elektrolitlarning qarshiligi kamayadi? 12. Elektroliz deb qanday hodisaga aytiladi? 13. Faradeyning birinchi va ikkinchi qonunlarini ta'riflang va formulasini yozing. 14. Faradey sonining fizik ma'nosi nima? 15. Elektroliz texnikada qayerlarda qo'llaniladi? 16. Volta elementining ishlash prinsipini tushuntiring. Bu elementning qanday kamchiligi bor? 17. Daniyel elementi qanday tuzilgan? Uning qanday ishlashini ayting. 18. Elektrodlarning qutblanishi deganda nimani tushunasiz? Uning zararli va foydali tomonlari nimalardan iborat? 19. Akkumulator qanday asbob? Akkumulatorni zaryadlash va razryadlash qanday amalga oshiriladi? Akkumulatorlar qayerlarda ishlatiladi?



MASALA YECHISH NAMUNALARI

1-masala. Platinadan ajralib chiqish uchun bu metaldagi erkin elektronlar tezligi eng kamida qanday bo'lishi kerak?

$$\text{Berilgan: } A = \alpha\varphi = 5,3 \text{ eV} = 5,3 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 8,48 \cdot 10^{-19} \text{ J};$$

$$m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}.$$

$$v = ?$$

Yechilishi. Ma'lumki, metallidagi erkin elektronlar metall sirtidan tashqariga chiqish uchun ish bajarishi kerak. Agar elektron issiqlik harakatining kinetik energiyasi chiqish ishiga teng bo'lsa, bunday elektron metall sirti yaqinida harakat qilganda uni tashlab chiqib ketishi mumkin. Shunga asosan

$$\frac{mv^2}{2} = \alpha\varphi$$

deb yoza olamiz. Bundan izlanayotgan kattalikni topamiz:

$$v = \sqrt{\frac{2\alpha\varphi}{m}}.$$

$$\text{Hisoblash: } v = \sqrt{\frac{2 \cdot 5,3 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}}} \cong 1,4 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

2-masala. Sulfat kislotalaning suvdagi eritmasidan 10^{20} ta elektron o'tganda ajralib chiqqan kislorod massasini aniqlang.

$$\text{Berilgan: } N = 10^{20}; \mu = 32 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}; k = 8,29 \cdot 10^{-8} \frac{\text{kg}}{\text{C}}.$$

$$m = ?$$

Yechilishi. Bu masalani ikki usul bilan yechish mumkin.

1. Bir elektronning zaryadi $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C ekanini bilgan holda N ta elektronning elektrolitdan olib o'tgan elektr miqdorini topamiz:

$$q = Ne.$$

Faradeyning birinchi qonuniga binoan:

$$m = kq = kNe.$$

$$\begin{aligned} \text{Hisoblash : } m &= 8,29 \cdot 10^{-8} \frac{\text{kg}}{\text{C}} \cdot 10^{20} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{C} = 1,3 \cdot 10^{-6} \text{kg} = \\ &= 1,3 \text{ mg.} \end{aligned}$$

2. Kislorod ikki valentli element bo'lgani uchun N ta elektron o'tganida ikki marta kam kislorod atomi ajraladi. Kislorodning bitta atomining massasi

$m_0 = \frac{\mu}{2N_A}$ ga teng bo'ladi, bunda μ – kislorodning molyar massasi, N_A – Avogadro soni. U holda elektroliz natijasida ajralgan kislorod massasi

$$m = \frac{N}{2} m_0 = \frac{N\mu}{4N_A}$$

ga teng bo'ladi.

$$\text{Hisoblash : } m = \frac{10^{20} \cdot 32 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}}{4 \cdot 6,02 \cdot 10^{26} \text{ kmol}^{-1}} = 1,3 \cdot 10^{-6} \text{ kg} = 1,3 \text{ mg.}$$

3- masala. ZnSO_4 eritmasidan rux ajratib olish uchun 2 kW-soat energiya sarf qilingan. Elektrodlar orasidagi potensiallar farqi 2 V bo'lsa, elektrodda qancha rux massasi ajraladi?

$$\text{Berilgan : } W = 2 \text{ kW-soat} = 72 \cdot 10^5 \text{ J; } \varphi_1 - \varphi_2 = 2 \text{ V;}$$

$$A = 65,38 \frac{\text{g}}{\text{g-ekv}}; n = 2; F = 96500 \frac{\text{C}}{\text{g-ekv}}.$$

$$m - ?$$

Yechilishi. Faradeyning birlashgan qonuniga asosan elektroliz vaqtida ajralib chiqqan rux massasi quyidagiga teng:

$$m = \frac{A}{n} \cdot \frac{q}{F}.$$

bunda: A – ruxning atom og'irligi; n – uning valentligi; q – elektrolitdan o'tgan zaryad miqdori; F – Faradey soni. q zaryad kattaligini topish uchun shu zaryadni ikki elektrod oralig'iga teng masofaga ko'chirishda elektr maydoni bajaradigan A' ishning formulasidan foydalanamiz:

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

Bu ish elektroliz vaqtida sarflangan energiyaga teng bo'ladi:
 $A' = W = q(\varphi_1 - \varphi_2)$, bundan

$$q = \frac{W}{\varphi_1 - \varphi_2}.$$

Demak, ajralgan ruxning massasi

$$m = \frac{A}{n} \cdot \frac{W}{F(\varphi_1 - \varphi_2)}$$

formula orqali ifodalanadi.

$$\text{Hisoblash: } m = \frac{65,38\text{g} \cdot 72 \cdot 10^5\text{J}}{2 \cdot 2\text{V} \cdot 96500\text{C}} = 1,22\text{kg}.$$

4- masala. Ikkita alohida vannada buyumlarga elektrolitik yo'l bilan bir xil tok kuchida mis va kumush qoplanmoqda. Agar kumush qatlamining massasi 40,24 g bo'lsa, mis qatlamining massasi qanday bo'ladi?

$$\text{Berilgan: } \begin{array}{l} m = 40,24 \text{ g} = 40,24 \cdot 10^{-3} \text{ kg}; \quad A = 107,88; \quad n=1; \\ A_1=63, 57; \quad n_1=2. \end{array}$$

$$m_1 - ?$$

Yechilishi. Faradeyning birlashgan qonuniga asosan quyidagilarni yozamiz:

$$m = \frac{A}{n} \cdot \frac{It}{F}; \quad m_1 = \frac{A_1}{n_1} \cdot \frac{It}{F},$$

bunda: A va A_1 — kumush bilan misning atom og'irligi, n va n_1 ularning valentligi, I — elektrolitdan o'tayotgan tok kuchi, t — uning o'tish vaqti. Birinchi ifodani ikkinchi ifodaga hadma-had bo'lsak, quyidagi nisbat hosil bo'ladi:

$$\frac{m}{m_1} = \frac{A}{A_1} \cdot \frac{n_1}{n}, \quad \text{bundan} \quad m_1 = \frac{A_1}{A} \cdot \frac{n}{n_1} m.$$

$$\text{Hisoblash: } m_1 = \frac{40,24 \cdot 10^{-3}\text{kg} \cdot 63,57 \cdot 1}{107,88 \cdot 2} = 1,19 \cdot 10^{-2} \text{kg}.$$



MUSTAQIL YECHISH UCHUN MASALALAR

61. $8,3 \cdot 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ tezlikka ega bo'lgan erkin elektronlar seziydan chiqsa, uning chiqish ishini toping.

62. Elektrolitlar orqali elektr toki o'tganda ular qiziydi. Bu hodisani ion o'tkazuvchanlik nuqtayi nazaridan kelib chiqib qanday tushuntirish mumkin?

63. Nima uchun elektr simlarga quruq qo'lga nisbatan ho'l qo'l bilan tegish ancha xavfliroq bo'ladi?

64. Nima uchun elektrolitning, masalan, osh tuzi eritmasining ichida zaryadlangan ionlar bo'lishiga qaramay uning atrofida elektr maydon bo'lmaydi va u bizga zaryadlanmagandek tuyuladi?

65. Nima uchun elektrolitda turli ishorali ionlar o'zaro tortishish ta'sirida yig'ilib, neytral molekullarga birikmaydi? Elektrolitda qanday sababga ko'ra molekullar doim dissotsiatsiyalanib turadi?

66. Qanday qilib galvanik elementga ulangan ikkita simni stakandagi suvga botirib, ular orasida kuchlanish bor yoki yo'qligini bilish mumkin? Suvni o'tkazgich deb hisoblang.

67. Tok manbaya qutblarining ishorasini aniqlash uchun, ko'pincha, amalda qutblarga ulangan simlarni suvli stakanga botirib, qaysi sim atrofida ko'proq gaz ajralishini kuzatishadi. Bu ma'lumotlarga asosan qutblarning qaysi biri manfiy ekanligi qanday aniqlanadi?

68. Ikki soatda 8,049 g kumush ajralib chiqishi uchun tok kuchi qanday bo'lishi kerak? Kumushning elektrokimyoviy ekvivalenti $1,118 \cdot 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{C}}$ ga teng.

69. Kumush nitrat (AgNO_3) eritmali elektrolitik vanna bilan ketma-ket ulangan ampermetr 0,9 A tok kuchini ko'rsatmoqda. Agar 5 minut davomida tok o'tganida 316 mg kumush ajralgan bo'lsa, ampermetrning ko'rsatishi to'g'ri bo'ladimi?

70. Agar 5 soat davomida elektrolitik vannadan 5 A tok o'tib turgan bo'lsa, elektroliz tufayli ajralgan natriyning massasi qancha bo'ladi? Natriyning elektrokimyoviy ekvivalentini hisoblang.

71. Sulfat kislotasining suvdagi eritmasidan 1 soat davomida 5 A tok o'tadi. Agar temperatura 0°C , bosim 1 atm. bo'lsa, ajralib chiqqan kislorod gazining hajmi qancha bo'ladi?

72. Katod plastinkasining kengligi 5 sm, uning elektrolitga botish chuqurligi 10 sm, tokning mumkin bo'lgan zichligi $0,1 \frac{\text{A}}{\text{sm}^2}$ bo'lsa, elektrodda ajralgan mis qoplaminig massasi 5 g bo'lishi uchun misning elektrokimyoviy ekvivalentini aniqlash tajribasi qancha vaqt davom etishi kerak? Misning elektrokimyoviy ekvivalenti $0,329 \cdot 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{C}}$ ge teng.

73. Rux sulfat eritmasini 1 soat davomida elektroliz qilganda undan 2,45 g rux ajralib chiqdi. Agar voltmetr qarshilikdagi kuchlanish tushishi 6 V ga teng ekanligini ko'rsatsa, elektroliz qilinayotgan vanna bilan ketma-ket ulangan qarshilikning kattaligini toping. Ruxning elektrokimyoviy ekvivalenti

$0,338 \cdot 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{C}}$ ga teng.

74. Sig'imi 20 A · soat bo'lgan akkumulatorlar batareyasi 0,25 A tokni iste'mol qiluvchi lampani ta'minlaydi. Akkumulatorni qayta zaryadlaguncha lampa necha soat yonib turishi mumkin?

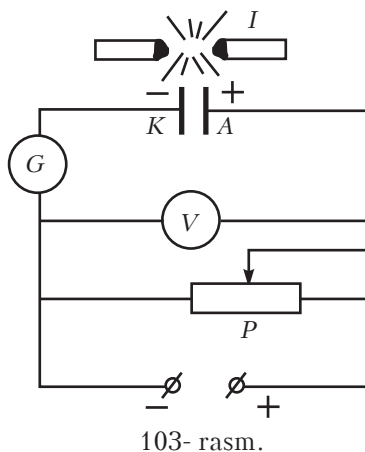
75. Ikkita bir xil akkumulator o'zaro parallel ulangan bo'lsa, ularning EYK, ichki qarshiligi va sig'imi qanday o'zgaradi? O'zaro ketma-ket ulanganda-chi?

52- §. Gazlarda elektr toki

Barcha gazlar normal sharoitda yaxshi izolyator bo'ladi. Buning sababi ularda erkin harakatlanuvchi elektr zaryadlarining yo'qligidir. Biroq biror sababga ko'ra, gazda erkin zaryadlar paydo bo'lsa, u o'tkazgich bo'lib qoladi. Gaz orqali elektr toki o'tish hodisasi *g a z r a z r y a d i* deb ataladi.

Odatdagi sharoitlarda gazlar neytral atom va molekullardan iborat bo'ladi. Isitish yoki nurlanish ta'siri natijasida bir qism atomlar ionlashadi — neytral atomlar musbat ion va elektronga ajraladi. Bu jarayon *i o n l a s h i s h* deb, ionlashishni yuzaga keltiruvchi tashqi ta'sir esa *i o n l a g i c h* deb ataladi.

Gazlarda razryad hodisalarini kuzatish uchun quyidagi tajribalarni o'tkazamiz (103- rasm). Musbat va manfiy zaryadlangan *A* va *K* plastinkalar orasidagi gaz *I* ionlagich ta'sirida bo'lsin. Bu ikki plastinka orasidagi kuchlanish *P* potensimetr yordamida boshqarilib, ular orasida kuchli maydon hosil qilinadi. Gazlarning ionlanishida hosil bo'luvchi tok juda kichik bo'lganligidan, zanjirga sezgir *G* galvanometr ulangan. Kuchlanish juda kichik bo'lganda galvanometr deyarli ko'rsatmaydi. Demak, tok kuchi nolga teng. Kuchlanish ortishi bilan tok ma'lum qiymatgacha chiziqli bog'lanishda ortib boradi.



Ionlagichlar ta'sirida gazlar oson ionlashadi. Bunda ba'zi molekulalar shunchalik tez harakatlanadiki, hatto ular boshqa molekulalar bilan to'qnashish natijasida ionlarga ajraladi. Temperatura qanchalik yuqori bo'lsa, ionlar shuncha ko'p hosil bo'ladi. Ionlashish natijasida atomdan ajralib chiqqan elektron biror muddat erkin qoladi yoki darhol gazning neytral molekulalaridan biri bilan birlashib, bu molekulani manfiy ionga aylantiradi. Binobarin, ionlashgan gazda musbat va manfiy ionlar hamda elektronlar bo'ladi.

Shunday qilib, gazlarda metallarda bo'ladigan elektron o'tkazuvchanlik bilan elektrolitlarda bo'ladigan ionli o'tkazuvchanlik birga qo'shiladi. Demak, gazlar *elektron-ionli o'tkazuvchanlikka* ega.

Molekula yoki atomdan bitta elektronni ajratib chiqarish uchun ionlagich ma'lum ish bajarishi kerak, bu ish ionlashish sharti deb ataladi. Ko'pchilik gazlar uchun uning qiymati 5 dan 25 eV gacha yetadi.

Gazda ionlashish bilan birga ionlarning rekombinasiya jarayoni ham boradi. Natijada ionlarning ma'lum konsentrasiyasi bilan xarakterlanuvchi muvozanat holat qaror topadi, ionlarning bunday konsentrasiyasi ionlagichning quvvatiga bog'liq bo'ladi. (Ionlagichning quvvati shu ionlagichning gazning birlik hajmida vaqt birligi davomida hosil qilgan ionlar jufti bilan xarakterlanadi.)

53- §. Nomustaqil va mustaqil gaz razryadlari

Yuqorida aytib o'tganimizdek, tashqi elektr maydon bo'lganida ionlashgan gazda turli ismli ionlar va elektronlarning tartibli harakati tufayli tok vujudga keladi. Ionlagichning ta'siri to'xtaganda gaz ionlarining konsentrasiyasi darhol nolgacha kamayadi va tok to'xtaydi. Gazlarda tok mavjud bo'lishi uchun ionlagich zarur bo'lgan razryad nomustaqil gaz razryadi deb ataladi. Kuchli elektr maydonda gazda o'z-o'zidan ionlashish boshlanadi, buning natijasida ionlagich bo'lmaganda ham gazlarda tok mavjud bo'lishi mumkin. Bunday turdagi razryad mustaqil gaz razryadi deb ataladi. O'z-o'zidan ionlashish xodisalari umumiy tarzda shunday bo'ladi. Tabiiy sharoitlarda gazda hamma vaqt ham oz miqdorda erkin elektronlar va ionlar bo'lib, ular kosmik nurlar, atmosferada, tuproqda va suvda bo'ladigan radioaktiv moddalarning nurlanishidan iborat ionlagichlar ta'sirida hosil bo'ladi. Anchagina kuchli elektr maydon bu zarralarni shunday tezliklargacha tezlatishi mumkinki, ularning kinetik energiyasi ionlanish ishidan katta

bo'ladi. Bunda elektronlar bilan ionlar elektrodlar tomon harakatlanayotganda neytral atom va molekularlar bilan to'qnashib, ularni ionlashtiradi. To'qnashishda hosil bo'ladigan yangi elektronlar va ionlar ham maydon tomonidan tezlashtiriladi va o'z navbatida ular ham yangi neytral atom va molekularlarni ionlashtiradi. Bu hodisa to'xtovsiz davom etaveradi. Gazning bunday o'z-o'zidan (tashqi ionlagichsiz) ionlashishi zarb bilan ionlashish deyiladi.

Elektronlar kuchsizroq maydon bo'lganida ham ionlarga nisbatan gaz molekularlarini zarb bilan ionlashtirish mumkin. Bunday farq bo'lishiga asosiy sabab — elektronlarning gazdagi erkin yugurish yo'li uzunligining ionlarnikidan katta bo'lishidadir. Shuning uchun elektronlar zarb bilan ionlashtirish uchun zarur bo'lgan kinetik energiyaga ionlarga qaraganda kichikroq maydon kuchlanganligida ega bo'ladi.

Elektronlarning navbatdagi to'qnashish oldidagi kinetik energiyasi maydon kuchlanganligiga va elektronning erkin yugurish yo'li uzunligiga proporsional bo'ladi:

$$\frac{mv^2}{2} = eE \cdot \lambda, \quad (119)$$

bunda: m — elektronning massasi, v — uning tezligi, E — maydon kuchlanganligi, λ — elektronning erkin yugurish yo'li uzunligi, e — elektron zaryadi. Agar elektronning kinetik energiyasi neytral atomni ionlashtirish uchun bajarilishi lozim bo'lgan ishdan ortiq bo'lsa elektron atom bilan to'qnashganda uni ionlashtiradi. Natijada bitta elektron o'rniga ikkita elektron (atomga kelib urilayotgan elektron va atomdan urib chiqarilgan elektron) hamda bitta musbat ion paydo bo'ladi. Ular ham o'z navbatida maydon ta'sirida energiya oladi va o'z yo'lida uchragan atomlarni ionlashtiradi va hokazo. Natijada gazning butun hajmida elektronlar va ionlar soni keskin ortib, ionlar va elektronlar „ko'chkisi“ („quyuni“) hosil bo'ladi. Ana shu ko'chki nomustaqil razryadning mustaqil razryadga o'tishini ta'minlab, mustaqil gaz razryadini hosil qilib turadi. 104- rasmda elektron ko'chkisining hosil bo'li-

katod

anod

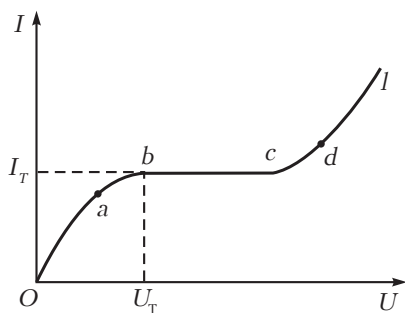
104- rasm.

shu sxematik tarzda ko'rsatilgan, bu yerda elektronlar nuqtalar bilan, neytral atomlar doirachalar bilan belgilangan (musbat ionlar tasvirlanmagan).

Shuni ham aytib o'tish lozimki, uncha kuchli bo'lmagan maydonlarda ham musbat ionlar mustaqil razryadda muhim rol o'ynaydi, chunki bu ionlarning energiyalari elektronlarni metallardan urib chiqarish uchun etarli bo'ladi. (Odatda, ionlashish ishiga nisbatan elektronlarning metallardan chiqish ishi kichik bo'ladi). Shuning uchun maydon tomonidan tezlantirilgan musbat ionlar manbaning katodiga urilib, undan elektronlarni urib chiqaradi. Bu elektronlar ham o'z navbatida gazni ionlashtirishda aktiv ishtirok etadi.

105- rasmda gazdagi tok kuchining elektrodlar orasidagi kuchlanishga bog'lanishining eksperimental grafigi berilgan. Grafikdan ko'rinishicha, elektrodlar orasidagi kuchlanish asta-sekin ortib borganda (elektr maydon hali kuchsiz) dastlab zanjirdagi tok kuchlanishga proporsional ortadi (egri chiziqning *Oa* qismi), so'ngra uning ortishi sekinlashadi (*ab* qism) va, nihoyat, shunday payt keladiki, kuchlanish bundan keyin ortsa ham, tok o'zgarmas bo'lib qoladi (*bc* qism), bu esa to'yinish tokini ifodalaydi. Biroq kuchlanishni ancha oshirsak, tok yana orta boshlaydi (*cd* qism). Demak, elektr maydon kuchli bo'lgani uchun gazda ionlagich hosil qilgan ionlardan tashqari yana o'z-o'zidan ionlashish boshlanadi. Tok keskin ortadi va nomustaqil gaz razryadi mustaqil gaz razryadiga aylanadi.

Kuchlanish kichik bo'lganda ionlagich ta'sirida hosil bo'lgan ionlarning hammasi ham elektrodga qarab harakatlanavermaydi, shuning uchun zanjirda tok kuchi kam bo'ladi. Kuchlanish ortgan sari elektrodga intiluvchi ionlar sonining ortib borishi bilan tok kuchi Om qonuniga ko'ra ko'paya boradi. Kuchlanishning



105- rasm.

bir sekunda hosil bo'lgan barcha ionlarni elektrodga qarab harakatlantiruvchi qiymati (U_T) da tok kuchi maksimal qiymatga erishadi. Tokning bu I_T qiymatini to'yinish toki deb ataladi. Endi kuchlanishni yanada orttirsak, mustaqil razryad boshlanadi.

Gaz ionlari elektrodga kelar ekan, ortiqcha elektronlarini

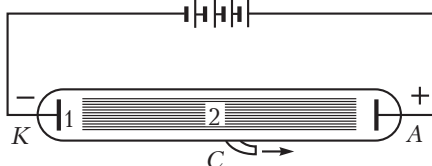
beradi yoki o'ziga yetishmaydigan elektronlarni qo'shib oladi va neytral molekullarga aylanib, yana qaytadan gazga aralashib ketadi, demak, ular elektrodlarga tarkibiy qismlar shaklida ajralmaydi. Binobarin, Faradeyning birinchi qonunini gazlarga qo'llab bo'lmaydi.

54- §. Mustaqil razryadning turlari

Gazlarning xossa va holatlariga, elektrodlarning materiali, shakli, o'lchamlari va o'zaro joylashishiga, shuningdek elektrodlarga berilgan kuchlanish kattaligiga qarab gazlarda mustaqil razryadning har xil turlarini kuzatish mumkin. Masalan, miltillama razryad, elektr yoyi, uchqunli razryad shular jumlasidandir.

1. Miltillama razryad siyraklangan gazlarda yuz beradi. Bu razryadni kuzatish uchun ikki uchiga kichik metall plastinkalar ko'rinishida elektrodlar payvandlangan uzun shisha nay olamiz (106- rasm) va bu elektrodlarni yuksak kuchlanish (bir necha yuz volt) manbayiga ulaymiz. Bosim turlicha bo'lgandagi elektr razryadni kuzatish mumkin bo'lishi uchun naydan havoni so'rib oluvchi nasosga ulangan *C* tarmoq chiqarilgan. Naydagi havo bosimi atmosfera bosimiga teng bo'lganda qo'yilgan kuchlanishga mos maydonda erkin elektronlar va zarb bilan ionlashish tufayli hosil bo'lgan ionlar soni oz bo'lganligidan havo tok o'tkazmaydi.

Kuchlanishni o'zgartirmay turib nasos yordamida naydan havoni so'rib ola boshlaymiz. Bunda havo bosimi 100 mm simob ustuniga yaqinlashganda elektrodlar orasida pushti-binafsha rangda nurlanuvchi ingichka shnur ko'rinishida razryad hosil bo'ladi. Havo so'rib olingan sari nurlanuvchi shnur yo'g'onlashadi va nayning butun ko'ndalang kesimini to'ldiradi. Bosim taxminan 10 mm simob ustuniga yetganda naydagi nurlanuvchi ustunning uchi katoddan ajraladi. Bosim 1 — 2 mm simob ustuniga tushib qolganda razryad asosan ikki qismdan iborat bo'ladi: 1) katodga bevosita tegib turuvchi yorug'lik chiqarmaydigan qism, bu qism katodning qorong'i fazasi (1- soha) deb ataladi; 2) nayning qolgan qismini to'anodgacha to'ldirgan shu'lalanuvchi gaz ustuni, razryadning bu ustuni yorug'lik sochuvchi anod ustuni — musbat ustun (2- soha)



106- rasm.

deb ataladi. Bosim 0,1 – 0,01 mm simob ustuniga teng bo‘lganda anod ustuni qorong‘i oraliqlar bilan ajralgan ayrim qatlamlarga bo‘linadi.

Miltillama razryad musbat ionlar katoddan urib chiqargan elektronlarning gaz molekulalarini zarb bilan ionlashi tufayli hosil bo‘ladi. Katod yaqinida bu elektronlar maydon ta‘sirida endi tezlasha boshlagan bo‘ladi. Shuning uchun 1- sohada ular amalda zarb bilan ionlashtirmaydi va hatto gaz molekulalarini „uyg‘ongan“ holatga ham keltira olmaydi (molekula bilan to‘qnashganda elektron energiyasining bir qismini molekulaga berishi mumkin va bunda molekulalarning ichki energiyasi ortib, bunday molekula „u y g ‘ o n g a n“ molekula deb ataladi), shuning uchun bu soha nurlanmaydi. Elektronlar musbat ustun (2- soha) ga yetgach, yetarlicha kinetik energiyaga ega bo‘ladi va shu sababli ustundagi gazni ionlashtiradi. Zarb bilan ionlashtirishda hosil bo‘ladigan musbat ionlar katodga qarab intiladi va katoddan yangi elektronlarni urib chiqaradi, bu elektronlar o‘z navbatida 2- sohadagi gazni ionlashtiradi va hokazo. Shunday qilib, miltillama razryad uzluksiz ravishda hosil bo‘lib turadi.

Miltillama razryadning 2- sohasida ionlanish bilan birga rekombinatsiya hodisasi ham ketadi. Molekulalarning uyg‘ongan holatdan normal holatga o‘tishida, shuningdek, rekombinatsiyalanishida ko‘pincha energiya ko‘zga ko‘rinuvchi yorug‘lik tarzida chiqishi mumkin, shuning uchun miltillama razryadda gaz yorug‘lik chiqaradi. Bu nurlanishning rangi gazning tabiatiga bog‘liq bo‘ladi.

Siyraklangan gazda ionlar konsentratsiyasi, shuningdek, neytral molekulalar soni kam bo‘lgani uchun gazda ajraladigan energiya miqdori uncha katta bo‘lmaydi, shuning uchun gazning nurlanishi sovuq nurlanishligicha qoladi.

Hozirgi vaqtda miltillama razryad turli gaz-yorug‘lik naylarida yorug‘lik manbai sifatida keng qo‘llaniladi. Kunduzgi yorug‘lik lampalarida razryad simob bug‘larida bo‘ladi. Simob bug‘ining nurlanishi nayning ichki sirtiga qoplangan maxsus moddalar (lyuminoforlar) qatlami tomonidan yutiladi. Yutilgan yorug‘lik ta‘sirida lyuminoforlar yorug‘lik socha boshlaydi va moddani tanlash yo‘li bilan nurlanayotgan yorug‘lik tarkibini kunduzgi yorug‘lik tarkibiga yaqin keltirish mumkin.

Gaz-yorug‘lik naylaridan, shuningdek, reklama va dekoratsiya maqsadlarida ham foydalaniladi.

2. Elektr yoyi. Razryad turlari ichida amaliy jihatdan juda muhim bo‘lgani elektr yoyidir.

Elektr yoyi hosil qilish uchun ikkita ko‘mir sterjen olib, ularning uchlari bir-biriga yaqin joylashtiriladi. Elektrodlarga 40–50 V kuchlanish berib, avval ularning uchlari bir-biriga tekkiziladi. Bunda ikkala sterjenning uchlari orasida birdaniga ko‘zni qamash-tiradigan darajada ravshan yarqirash ro‘y beradi. Elektrodlarni bir-biridan salgina ajratib, tokning elektrodlar uchlari orasida cho‘g‘langan havo orqali nur sochuvchi yoy tarzida o‘tayotganini ko‘rish mumkin. Yoy hosil bo‘lganda manfiy elektrod o‘tkirlashadi, musbat elektrodning uchi esa chuqurlashadi (krater hosil bo‘ladi). Musbat ko‘mirning temperaturasi 3900°C gacha, manfiy ko‘mirning temperaturasi esa 2500°C gacha yetadi.

V.F. Mitkevich bu razryadda asosiy rolni manfiy elektrodan keladigan elektronlar oqimi o‘ynashini ko‘rsatib berdi. Manfiy elektrodning qattiq cho‘g‘langan uchi juda ko‘p elektronlar chiqaradi, bu elektronlar gazni ionlashtirib, elektrodlar orasida tok hosil qiladi. Katodning temperaturasi yetarli darajada yuqori bo‘lib tursa, bu tok davom etadi. Agar katod sovitilsa, yoy o‘chib qoladi. Elektr yoyi faqat ko‘mir elektrodlar orasidagina emas, balki metall elektrodlar orasida ham hosil bo‘ladi.

Elektr yoyini 1802- yilda rus olimi V.V. Petrov kashf qilgan bo‘lib, bu yoy hozirgi vaqtda P e t r o v y o y i deb ataladi. Petrov yoyi kuchli yorug‘lik manbaya sifatida projektorlarda, kinoprojek-sion apparatlarda, mayaklarda qo‘llaniladi. Yoy temperaturasining yuqori bo‘lishi undan elektr metallurgiyasida elektr bilan payvand qilishda foydalanishga imkon beradi.

3. Uchqun razryad atmosfera bosimiga teng bosim sharoitida elektrodlar orasidagi elektr maydonning kuchlanganligi juda katta ($3 \cdot 10^6$ V/m chamasida) bo‘lganda havoda hosil bo‘ladi. Uchqun razryad vaqtida o‘ziga xos charsillash eshitiladi va tashqi ko‘rinishdan u ingichka kanaldan chiqib tarmoqlanayotgan chuvalchangsimon ravshan shu‘lalardan iborat bo‘ladi. Kuzatishlarning ko‘rsatishicha, uchqun gazda o‘tadigan uzlukli tokdir. Hosil bo‘lgan uchqun elektrodlar oralig‘ida tez o‘tib o‘chadi, uning o‘rniga ikkinchisi hosil bo‘ladi, bu ham o‘chib, uning o‘rniga yangisi paydo bo‘ladi va hokazo.

Uchqun razryad hosil bo‘lishida gazning elektron zarbidan ionlanishi bilan bir qatorda, gazning uchqun nuri ta’siridan ion-lashish jarayoni ham katta rol o‘ynaydi.

Uchqun razryaddan qattiq qotishmalarga ishlov berishda foydalaniladi. Metallarga ishlov berishda uchqundan kesgich va parma sifatida foydalaniladi.

4. Toj razryad. Mustaqil razryadning alohida turi toj razryad deb ataladi. Toj razryad bir jinsli bo‘lmagan elektr maydonida bo‘lgan gazda elektrodlar o‘tkir qismlarining yaqinida och binafsha rangda nurlanish bo‘lib, zaif shpillash bilan boradi. Agar kuchlanish ottirilib borilsa, bu razryad uchqun yoki yoy razryadga o‘tadi. Razryad gaz molekulalarini kuchli elektr maydonda katta tezlikkacha tezlatilgan elektronlar va ionlarning zarb bilan ionlashi tufayli yuzaga keladi. Gazning uyg‘ongan molekulalarining normal holatga o‘tishida chiqaradigan yorug‘lik energiyasi hisobiga razryad shu‘lalanish bilan ro‘y beradi. Shu‘lalanish elektrodni o‘rab turuvchi toj shaklida bo‘ladi, shuning uchun bu razryadni toj razryad deb atalgan. Toj hosil qiluvchi elektrodning ishorasiga qarab musbat yoki manfiy toj haqida so‘z yuritiladi.

Toj razryad yuqori kuchlanish simlari yaqinida, macthalarining, daraxtlarning o‘tkir uchlarida va boshqa o‘tkir uchli predmetlar yaqinida hosil bo‘ladi. Yuqori kuchlanishda qurilmalarda, xususan, yuqori kuchlanishli uzatish liniyalarida toj razryadning hosil bo‘lishi tokning isrof bo‘lishiga olib keladi. Energiya isrofini kamaytirish maqsadida yuqori kuchlanish liniyalaridagi o‘tkazgichlarning diametrlari iloji boricha kattaroq olinadi — kuchlanish qancha katta bo‘lsa, o‘tkazgich diametri ham shuncha katta olinadi. Xuddi shuningdek, yuqori kuchlanishli apparatlarning mantaji yetarlicha katta diametrli kovak trubalar yordamida olib boriladi.

Yashin qaytargichning ishlashi toj razryadga asoslangan (Yashin haqida biroz keyinroq to‘xtalamiz). Atmosferada momaqaldiroq bo‘lgan vaqtda hosil bo‘ladigan kuchli elektr maydon 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.

5. Yashin. Yashin atmosferada ro‘y beradigan uchqun razryad-dan iborat. XVIII asrning o‘rtalaridayoq yashin tashqi ko‘rinish-dan elektr uchquniga o‘xshashligiga e‘tibor qilishgan. 1752 — 1753-yillarda bir-biridan bexabar rus fizigi va kimyogari M.V. Lomonosov va amerikalik fizik V. Franklinlar tajribalar asosida momaqaldiroq bulutlarida juda katta elektr zaryadlari to‘planishini va yashin faqat o‘lchamlari bilangina farq qiluvchi nihoyatda katta uchqun ekanligini isbot qildilar.

Momaqaldiroq bulutining turli qismlari turli ishorali zaryad-larni eltadi. Ko‘pincha bulutning pastki (Yerga tomon qaragan)

qismi manfiy, yuqori qismi esa musbat zaryadlangan bo'ladi. Shuning uchun, agar ikki bulut turli ishorali zaryadlangan qismlari bilan bir-biriga yaqinlashib qolsa, u holda ular orasida razryad sodir bo'ladi — yashin chaqnaydi.

Biroq yashin boshqacha sodir bo'lishi ham mumkin. Momaqaldiroq buluti Yer ustidan o'tayotganda Yer sirtida katta induksion zaryadlarni yuzaga keltiradi. Natijada bulut va Yer sirti go'yo kondensatorning ikki qoplamasi bo'lib qoladi. Bulut bilan Yer sirti orasidagi potentsiallar farqi bir necha yuz million voltlarda o'lchanadigan juda katta qiymatga ega bo'ladi. Havoda kuchli elektr maydon hosil bo'ladi. Agar bu maydonning kuchlanishi yetarlicha katta bo'lsa, u holda Yer va havo oralig'ida Yerga uriladigan (tegadigan) yashin chaqnaydi. Bunday hollarda ba'zan yashin odamlarga shikast yetkazadi, binolarda yong'in chiqaradi.

Yashin kanalining ichida havo kuchli qiziydi va kengayadi, oqibatda tovush to'lqinlari hosil bo'ladi. Bu to'lqinlar bulutlar, tog'lar va hokazolardan aks etib, davomli aks sado — momaqaldiroqning gumburlashini yuzaga keltirib chiqaradi.

V. Franklin va M. Lomonosov zamonidan buyon yashindan muhofaza qilish uchun yashin qaytargichdan foydalanib kelinadi. Yashin qaytargich o'tkir uchli metall sterjen bo'lib, yerga yaxshilab ulanadi va himoya qilinayotgan binoning eng yuqori nuqtasidan balandroqqa mahkam o'rnatib qo'yiladi. Yashin qaytargichning himoya ta'siri uning taxminan ikki balandligiga teng masofagacha tarqaladi.

55- §. Plazma to'g'risida tushuncha

Gazlardan kuchli tok o'tganda va yuqori temperaturalarda gaz molekularining ko'p qismi (qariyb 100% gacha) ionlanadi, natijada gaz tez harakatlanuvchi musbat ionlar va elektronlardan iborat sistemaga aylanadi. Bu gazda elektronlar konsentratsiyasi musbat ionlar konsentratsiyasiga taxminan teng bo'ladi. Birday konsentratsiyada taqsimlangan elektronlar va musbat ionlardan iborat sistema elektron-ionli plazma yoki oddiy qilib plazma deb ataladi.

Miltillama razryadning musbat ustunida biz plazmani kuza-tishimiz mumkin. Plazma, shuningdek, uchqun razryadning bosh kanalida ham hosil bo'ladi.

Plazmada elektronlar va ionlar konsentratsiyasi birday bo'lgani uchun unda metallardagi singari hajmiy zaryad nolga teng bo'ladi.

Plazma tarkibidagi deyarli barcha zarralar zaryadlangan va harakatchanlikka ega bo'lgani uchun plazmaning elektr o'tkazuvchanligi juda katta bo'ladi. Binobarin, o'zining elektr o'tkazuvchanligiga ko'ra plazma metallarga yaqin bo'ladi.

Agar plazma elektr maydonga kiritilsa, u holda elektronlarning ionlarga nisbatan harakatchanligi katta (massalari ancha kichik) bo'lgani tufayli ular ionlarga nisbatan ancha katta energiyaga erishadilar. Ionlar va neytral zarralar bilan bo'ladigan elastik to'qnashuvlarda elektronlar ularga o'z energiyalarining juda kam qismini beradilar. Elektronlarning elektr maydonida erishgan energiyasining asosiy qismi ularning issiqlik harakati energiyasiga aylanadi. Natijada elektronlarning o'rtacha kinetik energiyalari neytral zarralar va ionlarning o'tacha kinetik energiyasidan ko'p marta katta bo'ladi. Plazma elektronlarining holatini ularning o'rtacha kinetik energiyalariga mos keladigan muayyan temperatura orqali tavsiflash mumkin. Bunday temperatura elektron plazmaning energetik holatini aniqlovchi xarakterli parametr hisoblanadi. Plazmada elektron gazning temperaturasi ion gazning temperaturasidan ancha katta bo'ladi. Bunday plazma *noizotermik plazma* deb ataladi. Bu temperaturani bilvosita usullar bilan o'lchash mumkin. Masalan, miltillama razryadning musbat ustunida bosim 0,1 mm simob ustuni tartibida bo'lganida elektronlarning temperaturasi 10^5 K va undan ham yuqori bo'lishi mumkin, holbuki shunday bosimda ionlarning o'zi bo'lganda temperatura bir necha yuz gradusdan ortmaydi.

Kichik bosimlarda to'qnashuvlar soni kam bo'ladi. Boism ortishi bilan to'qnashuvlar soni ham ortib, elektron va ion gazlar orasida issiqlik almashuvi kuchayadi, ularning temperaturalar farqi kamayadi. Yetarlicha yuqori bosimlarda elektronlar va ionlarning temperaturalari tenglashib qoladi. Bunday plazma *izotermik plazma* deb ataladi. Izotermik plazma hamma vaqt yuqori temperatura yordamida bo'ladigan ionlanishlarda yuzaga keladi. Masalan, uchqun kanalida hosil bo'ladigan plazma izotermik plazma hisoblanadi.

Plazma ko'proq kosmik jismlarda uchraydi. Yuqori temperatura va turli nurlanishlar ta'sirida koinotdagi moddalarning asosiy massasi amalda to'la ionlashgan, ya'ni kuchli ionlashgan plazma holatida bo'ladi. Xususan, Quyosh butunlay plazmadan iboratdir. Shuningdek, Yer atmosferasining yuqori qatlamlari (ionosfera) ham plazmadan iborat.

Plazma kuchli ionlashgan gaz bo'lgani uchun odatdagi gazlarga birmuncha o'xshash bo'ladi va ko'pchilik gaz qonunlariga

bo'ysunadi. Biroq plazma bilan oddiy gazlar orasida asosli farqlar ham bor. Bu farqlar, ayniqsa, magnit maydon mavjud bo'lganda yorqin namoyon bo'ladi. *Birinchi farq:* magnit maydon tomonidan plazmaning zarralari (ionlar va elektronlar)ga neytral atomlar gazida bo'lmaydigan katta kuchlar — Lorens kuchlari deb ataladigan kuchlar ta'sir qiladi (83- § ga qarang). *Ikkinchi farq:* plazmada elektronlar va ionlar ham kulon kuchlari yordamida kuchli o'zaro ta'sirda bo'ladilar. Bu ikkala hol va kuchli ionlashgan plazmaning katta elektr o'tkazuvchanligi birgalikda elektr va magnit maydonlar bo'lganida plazmaning xossalari va uning harakat tenglamalari odatdagi gazlar va suyuqliklarnikidan keskin farq qilishini ko'rsatadi.

Plazma xossalarini tadqiq qilish juda katta amaliy ahamiyatga ega, chunki plazmadan foydalanganda sun'iy boshqariluvchi termoyadro reaksiyalarini amalga oshirishning prinsiplial imkoniyati ochiladi.

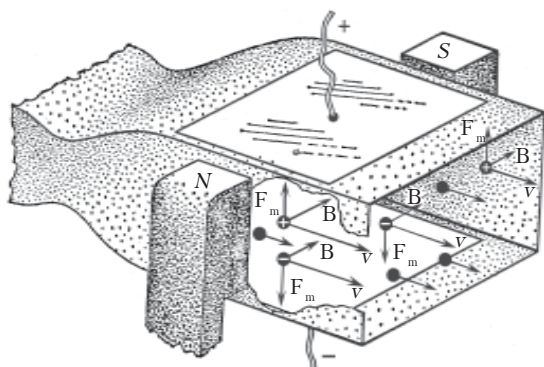
56- §. Magnitogidrodinamik generator

Issiqlik elektrostansiyalarida yonilg'i ichki energiyasining elektr toki energiyasiga aylantirish jarayoni juda murakkab, lekin foydali ish koeffitsiyenti (FIK) 30% dan oshmaydi. Yonilg'i energiyasi o'choq va qozonda bug' energiyasiga aylanadi, bug' turbinasida esa energiya rotorning kinetik energiyasiga aylanadi. Turbina rotori generator rotori bilan birga aylanadi, natijada statorda tok vujudga keladi.

Energiya aylanishining „o'choq-qozon-turbina-generator“ zanjiri juda murakkab ekanligi ravshan. FIKning kichikligi asosan ishchi jismi (bug')ning temperaturasi nisbatan past (750°C dan oshmaydigan) turbina va energiya o'zgarishining barcha bosqichlarida energiya isrofi bilan aniqlanadi.

Biroq plazmaning magnit maydonidagi harakatidan ionlashgan gazning ichki energiyasini to'g'ridan-to'g'ri elektr energiyasiga aylantirish usulidan foydalanish mumkin ekan. Bunday usul magnitogidrodinamik generator (MGD-generator)da amalga oshirilgan.

Agar yonishning qizdirilgan va buning natijasida ionlashgan gazsimon mahsulotini magnit maydonga ko'ndalang yo'nalishda harakatlantirilsa, u holda plazmada, xuddi shu kabi boshqa ixtiyoriy o'tkazgichda, induksiya EYK hosil bo'ladi. Bu EYKni plazmadan maxsus moslashtirilgan elektrodlar yordamida tashqi zanjirga



107- rasm.

uzatish mumkin. MGD-generatorning ishlashi shu prinsipga asoslangan. Generatorning tuzilishi 107- rasmda sxematik tasvirlangan. N va S magnit qutblari orasidagi fazoda magnit induksiya vektori \vec{B} ga teng magnit maydon mavjud bo'lib, shu maydonga perpendikular yo'nalishda Laval soplosi (reaktiv dvigatellarda ishlatiladigan soplo) joylashtirilgan. Yonilg'ining yonishidan hosil bo'lgan ionlashgan gaz Laval soplosi orqali o'tkaziladi. Bunda gazning bosimi, zichligi va temperaturasi uzluksiz kamayib boradi. Shunga mos ravishda gazning ichki energiyasi ham kamayadi. Buning hisobiga gaz oqimining kinetik energiyasi uzluksiz ortib boradi, oqim tezligi esa tovush tezligidan ancha ortishi mumkin. Shunday qilib, gaz oqimi kuchli magnit maydonga kiritilganda har bir zaryadli zarraga magnit maydon tomonidan ko'rsatilayotgan \vec{F}_m Lorens kuchi (83- § ga qarang) musbat ionlar va elektronlarni bir-biridan ajratib, ularni qarama-qarshi tomonga yo'naltiradi: musbat ionlar yuqori elektrodga, erkin elektronlar esa pastki elektrodga tomon harakatlanadilar (107- rasmga qarang). Natijada induksiya EYK hosil bo'ladi. Elektrodlarni tashqi nagruzka (iste'molchi)ga ulab, zanjirda tok hosil qilinadi, ya'ni plazmaning ichki energiyasi elektr energiyasiga aylantiriladi.

57- §. Vakuumda elektr toki. Elektronlar dastasi

Ikki elektrodli shisha nayda (106- rasmga qarang) mustaqil gaz razryad gaz bosimi uncha past bo'lmagan sharoitdagina yuz berishi mumkin. Gaz bosimi 0,0001 mm simob ustunidan pasaytirilsa, nay elektrodlaridagi kuchlanish noldan farqli bo'lgan taqdirda ham razryad to'xtaydi, ya'ni tok nolga teng bo'lib qoladi. Chunki gaz siyraklashganda undagi atom va molekulalar juda kamayib, elektron

zarbidan ionlashish va ionlarning katoddan elektronlar urib chiqarishi hisobiga tok o'tib turishi ta'minlanmaydi.

Naydagi gazni so'rib olaverib, undagi gaz molekulari konsentratsiyasini shu darajaga etkazish mumkinki, bunda molekularlar bir-biri bilan bir marta ham to'qnashmay, nayning bir devoridan ikkinchi devoriga yeta oladi. Naydagi gazning bunday holati vakuum deb ataladi. Demak, vakuum eng yaxshi izolator bo'lib hisoblanadi.

Ammo vakuumda elektr toki hosil qilish mumkin, buning uchun vakuumga zaryad tashuvchi zarralar manbayi kiritish kerak bo'ladi. Bunday manbaning ishi ko'pincha yuqori temperaturagacha isitilgan metallarning elektronlar chiqarish xossasiga asoslangan. Bizga ma'lumki, har qanday metall uning ichida erkin elektronlar bo'lishi bilan xarakterlanadi, bu erkin elektronlar o'ziga xos elektron gazi hosil qilib issiqlik harakatida qatnashadi. Elektronlar metalldan tashqariga chiqishi uchun chiqish ishi bajarishi kerak. Agar elektronlarga qo'shimcha energiya berilsa, ularda metallni tashlab chiqish imkoni tug'iladi. Elektronlarga turli usullar, masalan, metallni yoritish, ularni tashqi elektr maydoniga kiritish yoki metallni qizdirish yo'li bilan energiya berish mumkin. Elektronlarning jismdan chiqish hodisasi elektronlar emissiyasi deb ataladi („emissio“ lotincha so'z bo'lib, chiqarish degan ma'noni bildiradi).

Normal tashqi sharoitlarda elektronlar emissiyasi sust bo'ladi. Uning intensivligini oshirish uchun metall tarkibidagi erkin elektronlarning kinetik energiyasini chiqish ishiga tenglash yoki undan orttirish kerak. Turli usullar bilan buni amalga oshirish mumkin, shunga ko'ra elektronlar emissiyasi turlicha nomlanadi.

1. Elektronni metalldan yulib ajratib (chiqarib) oladigan kuchli elektr maydoni bilan elektronlar emissiyasini vujudga keltirish mumkin. Bunday emissiya sovuq emissiya yoki avtoemissiya (avtoelektron emissiya) deb ataladi.

2. Metallni dastlab elektr maydoni ta'sirida juda katta tezlikkacha tezlashtirilgan elektronlar bilan bombardimon qilib elektronlarni chiqarish mumkin. Bunda bombardimon qilayotgan elektronlardan har biri metalldan bir necha elektronlarni yulib olishi mumkin. Bunday emissiya ikkilamchi elektron emissiya deb ataladi.

3. Manfiy zaryadlangan metall, masalan, katod sirtiga intensiv yorug'likni yo'naltirib, elektronlar emissiyasini hosil qilish mumkin. Bunday emissiya fotoelektron emissiya bo'ladi.

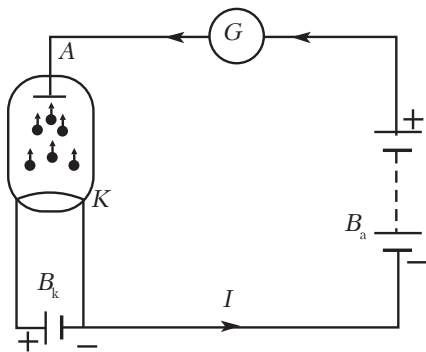
4. Metallni qizdirish yo'li bilan elektronlarning emissiyalari shiga erishish mumkin. Bunday emissiya esa termoelektron emissiya deb ataladi.

Elektron emissiyaning barcha turlari turli elektron asboblarda qo'llaniladi. Xususan, sovuq emissiyadan elektron mikroprojektorlarda, ikkilamchi elektron emissiyadan fotoko'paytirgichlarda, fotoelektron emissiyadan fotoelementlarda va hokazo foydalaniladi. Biroq boshqarilishi eng qulay bo'lgan termoelektron emissiyadan ko'proq foydalaniladi.

O'zbekistonda elektronlar emissiyasi hodisasini ilmiy tadqiqot etish bo'yicha dastlabki ishlarni professor G.N. Shuppe va akademik U.O. Orifovlar boshlab berishgan. G.N. Shuppe metall kristallarning turli qirralaridan emissiyalanadigan termoelektronlar qonuniyatlarini o'rgangan. U.O. Orifov atom zarralari (elektronlar, ionlar va atomlar)ning qattiq jism (metall va dielektriklar) sirti bilan o'zaro ta'siri natijasida yuz beradigan ikkilamchi elektronlar emissiyasini ilmiy o'rgangan. Dastlab U.O. Orifov rahbarligida, so'ngra uning shogirdlari tomonidan qattiq jism fizikasi, xususan, qattiq jism xossalarini atom zarralari yordamida o'zgartirish va diagnostika qilish bo'yicha ilmiy ishlar hozirgi vaqtda ham keng ko'lamda olib borilmoqda. Ushbu ilmiy izlanishlarning natijalari kosmik materialshunoslik va asbobsozlik sohasida keng qo'llanib kelmoqda.

Endi vakuumdagi tokni ko'rib chiqaylik. Vakuumdagi tokning xossalarini o'rganish uchun 106- rasmda ko'rsatilgan tajribani biroq o'zgartiramiz. Nay ichiga katod sifatida ingichka sim kavsharlab, uning uchlarini tashqariga chiqarib qo'yamiz. Bu sim ilgari gidek katod vazifasini o'taydi. Uni boshqa elektr toki manbai yordamida cho'g'lantiramiz (108- rasm).

Sim cho'g'langani zamon, anodga katodga nisbatan musbat potensial berilgan bo'lsa, zanjirga ulangan galvanometr tok borligini ko'rsatadi. Sim qancha kuchli cho'g'lansa, galvanometr tokning ham shuncha ko'p bo'lishini ko'rsatadi. Demak, cho'g'langan katod vakuumda elektr toki hosil bo'lishi uchun zarur bo'lgan zaryad tashuvchi zarralarning manbai bo'ladi. Bu zarralar, albatta, termoelektron emissiya tufayli katoddan uchib



108- rasm.

chiqqan erkin elektrtonlardir. Katoddan chiqqan elektrtonlar anod bilan katod orasidagi elektr maydon ta'sirida anodga tomon tartibli harakat qiladi va natijada tok hosil bo'ladi. Agar anod teshib qo'yilsa, elektr maydonda tezlashgan elektronlarning bir qismi shu teshikdan uchib o'tib, anod orqasida elektrtonlar dastasini hosil qiladi. Elektronlar dastasi katod qarshisidagi shishani cho'g'lantiradi. Shuning uchun elektronlar dastasini katod nurlari deb ham ataladi. Katod nurlari bir qator xossalarga ega bo'lib, ularni kuzatish va ulardan foydalanish mumkin. Bu xossalarning ba'zilari quyidagilardan iborat:

1. Elektronlar dastasi jismga tushganda uni isitadi. Ularning bu xossasidan hozirgi zamon texnikasida o'ta toza metallarni vakuumda eritish uchun foydalaniladi.

2. Tez harakatlanuvchi elektronlarning moddaga urilib to'xtashidan rentgen nurlari paydo bo'ladi. Bu xossadan rentgen trubkalarida foydalaniladi.

3. Elektronlar yog'dirilganda shisha, rux, kadmiy sulfid kabi moddalar (lyuminaforlar) yorug'lik chiqaradi. Tez elektronlar ta'sirida nurlanish katodolyuminessensiya deb ataladi. Lyuminaforlardan o'ziga tushgan elektronlar dastasi energiyasining ko'proq qismini yorug'lik energiyasiga aylantiradiganlari amalda keng qo'llaniladi.

4. Elektrtonlar dastasi o'zining dastlabki harakat yo'nalishidan elektr va magnit maydonlar ta'sirida og'adi. Quyoshdan kelayotgan elektronlar oqimi Yerning magnit maydonida uning qutblariga tomon og'adi. Shuning uchun atmosferaning yuqorigi qatlamlaridagi gazlarning yorug'lik chiqarish hodisasi (qutbshafa'gi) faqat qutblarda yuz beradi.

Elektronlar dastasini elektr yoki magnit maydon yordamida boshqarish imkoniyatlaridan va lyuminafor bilan qoplangan ekraning elektronlar ta'sirida yorug'lik chiqarish hodisasidan elektron-nurli trubkalarda foydalaniladi. Elektron-nurli trubka televizor va ossillografning asosiy qismini tashkil etadi (61- § ga qarang).

58- §. Elektron lampalar. Diod va uning volt-amper xarakteristikasi

Termoelektron emissiya radioelektronika qurilmalarining eng asosiy elementlari bo'lmish elektron lampalarda keng qo'llaniladi.

Elektron lampa ichidan havosi so'rib olingan va bir necha elektrodlar kavsharlangan shisha yoki metall ballondan iborat. Agar

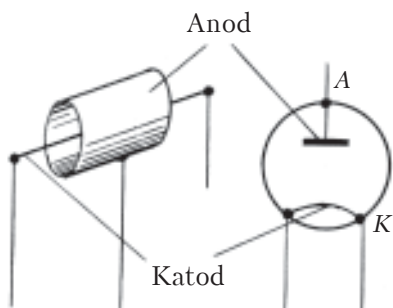
elektrodlar soni ikkita bo'lsa, bunday elektron lampa — d i o d , elektrodlar soni uchta bo'lsa, t r i o d deb ataladi. Elektrodning soni uchtdan ortiq bo'lgan elektron lampalar ham ko'p ishlatiladi.

Barcha elektron lampalar ishlashining asosini ularda termoelektron emissiya tufayli hosil bo'ladigan elektronlar oqimini boshqarish tashkil etadi.

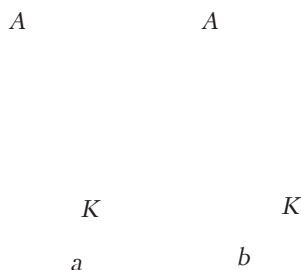
109- rasmda diodning tuzilishi ko'rsatilgan. Konstruksiyasi bo'yicha elektrodlar turli shaklda tayyorlangan bo'lishi mumkin. Eng sodda holda katod ingichka to'g'ri tola, anod esa katodga nisbatan koaksial silindr shaklida bo'ladi. 109- rasmda diodning konstruktiv va ishchi sxemasi ko'rsatilgan bo'lib, bunda *A* — anod, *K* — katod.

Har qanday elektron lampaning asosiy elektrodlaridan biri katoddir. Termoelektron emissiyadan foydalanish uchun ikki tur katodlar: bevosita cho'g'lanuvchi va bilvosita cho'g'lanuvchi katodlar qo'llaniladi. Bevosita cho'g'lanuvchi katod ingichka to'g'ri tola yoki *W* - simon tola shaklida bo'lib, uni qizdirish uchun akkumulyator-dan yoki past kuchlanishli transformator-dan olinadigan tok bevosita toladan o'tkaziladi. Bilvosita cho'g'lanuvchi katodda tok cho'g'lantiradigan sim ingichka sopol silindr ichiga joylashtiriladi va faqat silindrni isitish uchun xizmat qiladi; termoelektron emissiya silindrning metall qoplangan tashqi sirtida vujudga keladi. 110- *a* rasmda bevosita tolali katodning, 110- *b* rasmda esa bilvosita tolali katodning sxematik tasvirlari keltirilgan.

Elektron lampalarning katodi sof volframdan tayyorlanadi. Lekin volframda elektronlarning chiqish ishi katta. Chiqish ishini kamaytirish, ya'ni elektronlar emissiyasini engillatish maqsadida katod maxsus qayta ishlanib toriylangan (sirti toriyning yuqqa-monomolekulyar qatlami bilan qoplangan) volframdan va



109- rasm.



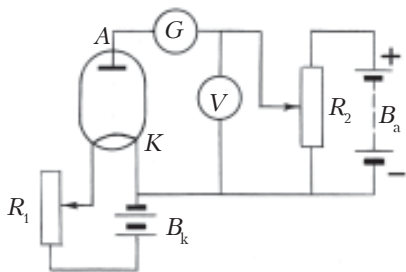
110- rasm.

oksidlangan (sirti ishqoriy yer elementlari oksidlari, masalan, bariy oksid, stronsiy oksid yoki ularning aralashmasi bilan qoplangan) metallardan, xususan, nikel dan qilinadi.

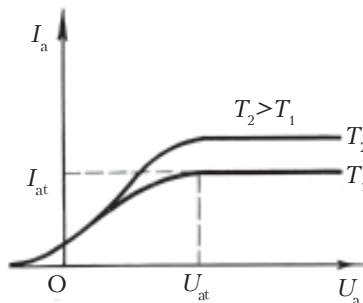
Diodning ishlash prinsipi bilan tanishish uchun sxemasi 111-rasmda keltirilgan zanjir tuzamiz. Bu sxemada B_k – katodni cho‘g‘lantirish uchun tok beruvchi batareya, uni cho‘g‘lantirish batareyasi deb ataladi. B_a – anod bilan katod orasida kuchlanish hosil qiluvchi batareya, uni anod batareyasi deb, elektrodlar orasidagi kuchlanishni esa anod kuchlanishi (U_a) deb ataladi. Anod, galvanometr, anod batareyasi, katoddan iborat zanjir anod zanjiri deb, shu zanjirdagi tokni esa anod toki (I_a) deb ataladi. Katod, cho‘g‘lantirish batareyasi, reostatdan iborat zanjir cho‘g‘lanish zanjiri yoki katod zanjiri deb, undan oqayotgan tokni cho‘g‘lanish toki (I_{ch}) deb ataladi.

111-rasmda tasvirlangan elektr sxemada K katod B_k katod cho‘g‘lantirish batareyasi tomonidan hosil qilingan tok bilan qizdiriladi. Reostat R_1 yordamida cho‘g‘lanish tokini boshqarib, katodning cho‘g‘lanish temperaturasi o‘zgartirish mumkin. Anod kuchlanishining kattaligini R_2 reostat yordamida o‘zgartirib voltmetr yordamida, anod toki galvanometr yordamida o‘lchanadi.

Agar katod cho‘g‘lanishini birday saqlagan holda anod toki ning anod kuchlanishiga bog‘lanishi olinsa, u holda 112-rasmda tasvirlangan tutash egri chiziq hosil bo‘ladi. Ushbu egri chiziq diodning volt-amp er xarakteristikasi deyiladi. Anod kuchlanishi nolga teng bo‘lganda termoelektron emissiya tufayli katoddan uchib chiqqan elektronlar uning atrofida manfiy fazoviy zaryadlar – *elektronlar bulutini* hosil qiladi. Bu bulut katoddan uchib chiqayotgan elektr onlarni itaradi va ularning ko‘pchilik qismini qaytarib yuboradi. Shunga qaramasdan uncha ko‘p bo‘lmagan juda katta energiyaga ega bo‘lgan elektronlar anodgacha



111- rasm.



112- rasm.

uchib borishga muvaffaq bo'ladi, natijada anod zanjiridan kuchsiz tok oqa boshlaydi. Elektronlarning anodga tushishini to'la to'xtatish, ya'ni $I_a = 0$ bo'lishi uchun, anod bilan katod orasiga ma'lum kattalikdagi manfiy kuchlanish berish kerak bo'ladi. Shuning uchun diodning volt-amper xarakteristikasi noldan boshlanmay, balki koordinata boshidan bir oz chaproqdan boshlanadi.

Agar anod bilan katod orasida elektr maydon hosil qilinsa ($U_a > 0$), u holda elektronlar bulutidagi elektrtonlar anodga qarab harakatlanadi. Kuchlanish ortishi bilan anodga tomon harakatlanuvchi elektrtonlar soni va unga mos ravishda anod toki ham ortadi. Kuchlanishning biror U_{at} qiymatida ayni shu (T_1) temperaturada katoddan uchib chiqayotgan barcha elektronlar anodga yetib boradi. Kuchlanishning keyingi ortishi anod tokini orttirmaydi, ya'ni tok to'yinish qiymatiga erishadi. Demak, *to'yinish toki muayyan temperaturada katod sirtidan birlik vaqt ichida uchib chiqqan elektronlar soni bilan aniqlanadi*. Binobarin, to'yinish tokini oshirish uchun katodning cho'g'lanish temperaturasini ko'tarish kerak. 112- rasmda diodning katodning ikki xil cho'g'lanish temperaturasidagi volt-amper xarakteristikasi berilgan, bunda $T_2 > T_1$.

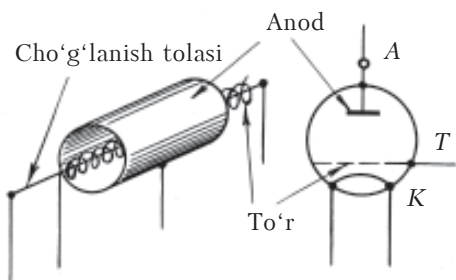
Diodning (va boshqa lampalarning) volt-amper xarakteristikasi to'g'ri chiziqli emas (112- rasmga qarang), shuning uchun elektron lampalarda tokning o'zgarish qonuniyatlari Ohm qonuniga bo'ysunmaydi. Bu hol lampaning o'tkazuvchanligi doimiy bo'lmay, balki uning ishlash rejimiga (tolaning cho'g'lanish temperaturasiga, anodga qo'yilgan kuchlanishga) bog'liqligi bilan tushuntiriladi.

Elektron lampaning faqat cho'g'langan katodi elektronlar chiqaradi, shuning uchun lampaning katodi anod batareyasining manfiy qutbiga ulangandagina anod zanjirida tok mavjud bo'ladi.

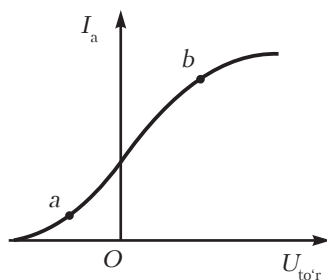
Qo'yilgan kuchlanishning qutbli o'zgartirilganda barcha elektronlar katodga qaytadi. Demak, diod bir tomonlama tok o'tkazish xususiyatiga ega ekan, undan o'zgaruvchan tokni to'g'rilashda foydalaniladi. Bunday maqsad uchun mo'ljallangan diod *kenotron* deb ataladi.

59- §. Triod va uning to'r xarakteristikasi

Elektron lampadagi elektr tokini boshqarish mumkin. Buning uchun lampa ichiga bir yoki bir necha to'r deb ataluvchi qo'shimcha metall elektrodlar kiritish kerak. Ko'pincha bu elektrodlar sim spirallar ko'rinishida tayyorlanadi va katod bilan anod orasiga joylashtiriladi. Uch elektrodli lampa yoki triod anod, katod



113- rasm.



114- rasm.

va to'r kabi elektrodlarga ega. 113- rasmda triodning konstruktiv va ishchi sxemasi berilgan, bunda T – to'r (uchinchi elektrod). Triod-dagi elektr toki faqat anod potensialiga emas, balki to'rning katodga nisbatan potensialiga ham bog'liq bo'ladi.

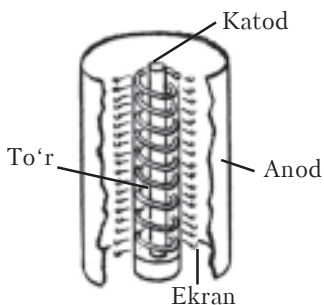
To'r bilan katod orasidagi kuchlanish to'r kuchlanishi ($U_{to'r}$) deb ataladi. Agar to'rga musbat va uncha katta bo'lmagan kuchlanish berilsa (bunda $U_a > 0$ deb hisoblaymiz), u holda elektronlar katoddan tezroq tortib olina boshlaydi. Ulardan ayrimlari to'rga tushadi va natijada uncha katta bo'lmagan to'r toki hosil bo'ladi. Biroq elektronlarning asosiy qismi to'r orqali uchib o'tib, anodga yetib boradi. To'r katodga yaqin joylashganligi tufayli to'r va katod orasidagi kuchlanishning ozgina o'zgarishi ham anod tok kuchiga katta ta'sir ko'rsatadi.

To'r kuchlanishi ($U_{to'r}$) manfiy bo'lganda anod toki kamayadi va yetarlicha katta manfiy kuchlanishda tok tamoman yo'qoladi – *lampa berk* hisoblanadi. Agar anod kuchlanishi o'zgarmas bo'lgan hol uchun anod tokining to'r kuchlanishiga bog'lanishi olinsa, 114- rasmda ko'rsatilgan egri chiziq hosil bo'ladi. Bu bog'lanish triodning to'r xarakteristikasi deb ataladi. Grafikdan ko'rinib turibdiki, to'r kuchlanishini o'zgartirib anod tokini boshqarish, ya'ni uni kamaytirish yoki ko'paytirish mumkin ekan. Xarakteristikani o'rta ab qismi xarakteristikaning ishchi qismi deyiladi. Bu sohada anod tokining o'zgarishi to'r kuchlanishining o'zgarishi bilan deyarli chiziqli bog'langan. Xarakteristika ishchi qismining tikligi qancha katta bo'lsa, to'r kuchlanishi ortganda anod toki ham shuncha keskin ortadi. Bu hol trioddan zaif tok va kuchlanishlar tebranishlarini kuchaytirgich sifatida foydalanish imkoniyatini beradi. Bundan tashqari, trioddan o'zgaruvchan tok va kuchlanishlarni generatsiyalash (uyg'otish) hamda o'zgartirish (shaklini o'zgartirish)da foydalanish mumkin.

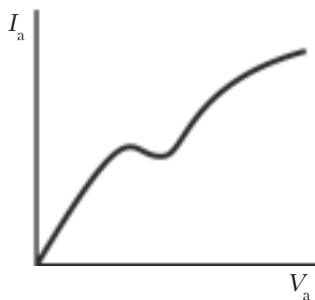
60- §. Ko'p to'rli elektron lampalar

Yuqori chastotali signallarni kuchaytirish koeffitsiyentini oshirish va lampalarning barqaror ishlash muddatini ko'paytirish maqsadida elektron lampalarda bir necha qo'shimcha to'r ishlatiladi. Xususan, elektronlar oqimiga anodning ta'sirini kamaytirish va shu bilan birga lampaning kuchaytirish koeffitsiyentini oshirish uchun boshqaruvchi to'r bilan anod orasiga ikkinchi to'r – ekranlovchi to'r joylashtiriladi. To'rt elektrodli bunday lampalar tetrod deb ataladi. 115- rasmla tetrodning tuzilishi tasvirlangan. Ekranlovchi to'rga odatda anod kuchlanishining 30 – 60% chamasida musbat potensial beriladi, natijada u boshqaruvchi to'r va katod oldida anod maydonini ancha kuchsizlantiradi. Shu sababli tetrodning anod kuchlanishining o'zgarishi anod tokining o'zgarishiga trioddagiga nisbatan ancha kam ta'sir qiladi, lampaning kuchaytirish koeffitsiyenti esa keskin ortadi.

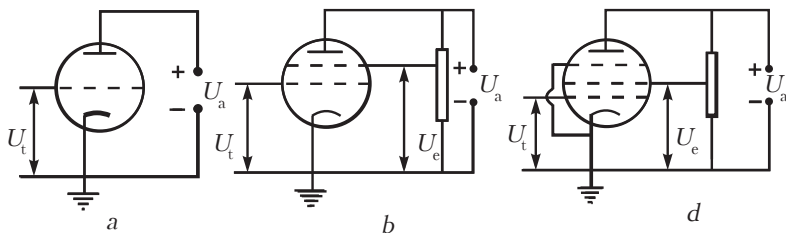
Biroq ekranlangan lampaning triodga nisbatan bunday afzalliklari bilan birga uning muhim kamchiligi ham bor, u ham bo'lsa ikkilamchi elektron emissiya bilan bog'liq bo'lgan dinatron effektida n iborat. Dinatron effektning kelib chiqishini quyidagicha tushuntirish mumkin. Elektron lampada anod kuchlanishi katta bo'lganda katod emissiyalagan elektronlarning harakat tezligi katta bo'ladi. Bu elektronlar anod sirtiga tushib, anoddan ikkilamchi elektronlarni urib chiqaradi. Agar anod potentsiali ekranlovchi to'r potentsialidan kichik bo'lsa (bu hol to'rga o'zgaruvchan kuchlanish berilganda ro'y berishi mumkin), u holda ikkilamchi emissiya elektronlari ekranlovchi to'r tomon harakatlanadi, natijada lampaning anod toki kamayadi va uning volt-ampere xarakteristikasida kuchaytirish sifatini yomonlashtiruvchi keskin egilish (chuqur) hosil bo'ladi (116- rasm). Bu kamchilik ekranlovchi to'r bilan anod



115- rasm.



116- rasm.



117- rasm.

orasiga yana bitta (katodga ulangan) to‘rni joylashtirish bilan yo‘qotiladi. Bu to‘rni dinatronga qarshi (yoki himoyalovchi) to‘r deb ataladi va ikkilamchi emissiya elektronlarini qaytarib, asosiy oqim elektronlariga kam ta‘sir qiladi. Chunki asosiy oqim elektronlari bu to‘rga katta tezlik bilan keladi va shuning uchun undan oson o‘tib ketadi. Bunday besh elektrodli elektron lampani pentod deb ataladi. 117- rasmlarda triodning (a), tetrodning (b) va pentodning (d) zanjirga ulanish sxemalari keltirilgan. Bu yerda U_a – anod kuchlanishi, U_t – boshqaruvchi to‘r kuchlanishi va U_e – ekranlovchi to‘r kuchlanishi.

Ko‘p elektrodli elektron lampalar elektrotexnika, radiotexnika, telemexanika, telegrafiya, telefoniya, avtomatika kabi bir qator sohalarda keng qo‘llaniladi.

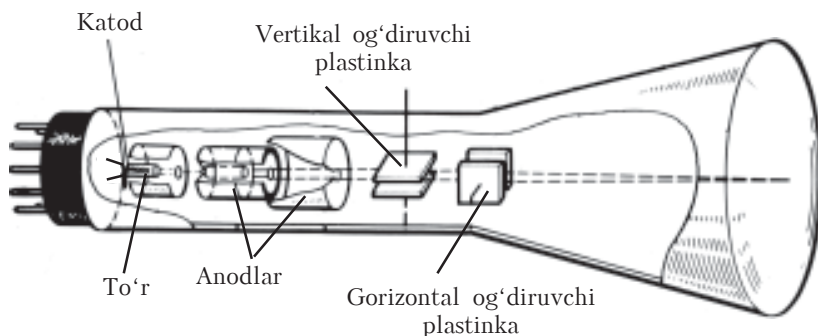
Yuqorida qayd etilgan lampalardan tashqari maxsus maqsadlar uchun mo‘ljallangan lampalar — ikki boshqaruvchi to‘rli, ikki diodli, ikki triodli va shu kabi lampalardan foydalaniladi.

61- §. Elektron- nurli trubka

Elektronlar dastasi turli texnik maqsadlarda ishlatiladi. Masalan, vaqt bo‘yicha juda tez o‘zgaruvchi elektr hodisalarni kuzatishga mo‘ljallangan elektron ossillografda elektronlar dastasidan foydalaniladi. Elektron ossillografning asosiy qismi elektron-nurli trubka bo‘lib, uning sxematik tuzilishi 118- rasmda tasvirlangan.

Elektron-nurli trubka havosi so‘rib olingan va ichiga elektronlar dastasining manbai — elektron zambarak, elektron-nurni og‘diruvchi plastinkalar hamda lyuminessensiyalanuvchi modda bilan qoplangan ekran joylashtirilgan shisha naydan iborat.

Qizdirilgan katoddan emissiyalanayotgan elektronlar boshqaruvchi elektrod — to‘r orqali o‘tgandan so‘ng ikkita anod yordamida tezlatiladi. Katod, to‘r va anodlardan tarkib topgan bu sistema elektron zambarak deb ataladi. Uning asosiy vazifasi ekranda fokuslangan elektronlar dastasini hosil qilishdan iborat.



118- rasm.

Ekran lyuminessensiyalanuvchi modda bilan qoplangani uchun unga kelib tushgan elektrtonlar dastasi zarbidan shu'lalanadi, ekranda yorug' dog' hosil bo'ladi.

Elektronlar dastasini fokuslash uchun boshqaruvchi elektrod-to'rga manfiy potensial beriladi. Bu elektrodning maydoni katoddan chiqayotgan elektronlar oqimini toraytirib, ingichka elektron-nurga aylantiradi. Birinchi va ikkinchi anodlar yordamida elektron-nur tezlatiladi. (Ikkinchi anodning potentsiali birinchi-nikidan taxminan to'rt marta ko'p bo'ladi.) To'r va anodlardagi potentsiallarni boshqarib, ekrandagi dog'ning yorqinligini va fokuslashni kerakliicha o'zgartirish mumkin.

Tezlatilgan elektron-nur o'zaro perpendikular joylashgan ikki juft og'diruvchi plastinkalar orqali o'tadi. Ulardan biri elektron-nurni gorizontal yo'nalishda, ikkinchisi esa — vertikal yo'nalishda og'diradi. Masalan, vertikal og'diruvchi plastinkalarning qaysi biri musbat potentsialga ega bo'lsa, elektron-nur shu plastinka tomon og'adi. Plastinkalardagi potentsiallarning ishorasi o'zgarsa, elektron-nur teskari yo'nalishda og'adi. Shunday qilib, bu plastinkalardagi potentsiallar farqining tebranishi ekranda elektron-nurning vertikal yo'nalishda tebrantiradi. Odatda vaqt davomida o'zgarishi o'rganilayotgan kuchlanish shu vertikal og'diruvchi plastinkalarga beriladi. Gorizontal yo'nalishda og'diruvchi plastinkalarda potentsiallar farqining tebranishlari elektron nurning gorizontal yo'nalishda tebranishlarini yuzaga keltiradi, binobarin, ekranda elektron-nur hosil qilayotgan yorug' dog' ham tebrana boshlaydi.

Shunday qilib, og'diruvchi plastinkalar hosil qilgan elektr maydonlar ta'sirida yorug' dog' ekranda tekshirilayotgan kuchlanishning vaqt bo'yicha o'zgarishini ifodalovchi egri chiziq chizadi.

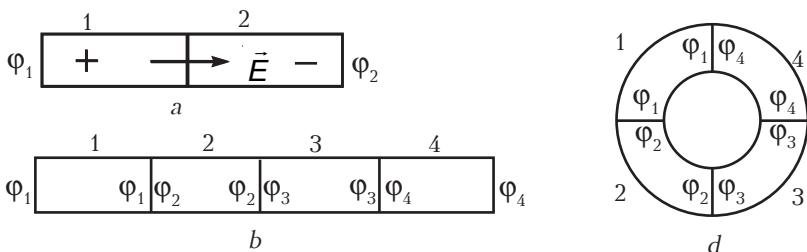
Elektronlarning massasi juda kichik bo'lgani uchun ($m_e = 9,11 \cdot 10^{-31}$ kg), hatto juda tez o'zgaruvchi kuchlanishlarda ham elektron-nur amalda inersiyaga ega bo'lmaydi. Shuning uchun maydon ta'sirida maydonning o'zgarishiga aniq mos (sinxron) ravishda og'adi. Elektron-nurli trubkaning eng asosiy afzalligi ham shunda. Demak, elektron-nurli trubka juda tez o'zgaruvchi kuchlanishlar va toklarda ro'y beradigan jarayonlarni kuzatish imkonini beradi. Ayniqsa, bunday turdagi masalalar ham yo'nalishi, ham qiymati jihatdan sekundiga ko'p millon va hatto o'nlab million marta o'zgarib turadigan toklar va kuchlanishlar bilan ish ko'radigan radiotexnikada tez-tez uchrab turadi.

Bunday tez o'zgaruvchan tok va kuchlanishlarni o'rganish uchun tegishli moslamalar bilan ta'minlangan elektron-nurli trubka elektron-nurli ossillograf deb ataladi. Bu asbob faqat radiotexnikada emas, balki fan va texnikaning yana boshqa bir qator sohaslarida ham ishlatiladi.

Elektron-nurli trubka qo'llaniladigan boshqa juda muhim soha televideniya. Har qanday televizorning muhim va zarur qismi elektron-nurli trubka hisoblanadi.

62- §. Kontakt potentsiallar farqi

48- § da Volta ikkita turlicha metallni bir-biriga zich tegizilganda, metallarning yondoshish sohasida elektr zaryadlarning ajralishini — bir metall manfiy, ikkinchi metall musbat zaryadlanib qolishini tajribada kuzatganini qayd etgan edik. Bu hol quyidagicha tushuntiriladi. Ma'lumki, turli metallarda epkin elektronlarning konsentratsiyasi va xuddi shu kabi, metalldan chiqish ishi turlicha bo'ladi. Shuning uchun ikki xil metall bir-biri bilan kontaktga keltirilganda, kontakt sohasida erkin elektronlarning to'xtovsiz tartibsiz harakati tufayli ularning bir metalldan ikkinchi metallga „ko'chishi“ (o'tishi) sodir bo'ladi. Albatta, bunda elektronlarning chiqish ishi kichikroq, konsentratsiyasi ko'proq bo'lgan metalldan chiqish ishi kattaroq, konsentratsiyasi kamroq bo'lgan qo'shni metallga ko'proq elektronlar o'tadi. Shuning natijasida bir metallda erkin elektronlar to'planib qoladi, binobarin, metall manfiy zaryadlanadi, ikkinchi metallda esa erkin elektronlar yetishmaydi, binobarin, bu metall musbat zaryadlanib qoladi (119- a rasm). Bunda hosil bo'lgan $\phi_1 - \phi_2$ potentsiallar farqi \vec{E} kuchlanganlikli elektr maydon vujudga keltiradi, bu elektr maydon elektronlarning yanada



119- rasm.

„ko‘chishi“ni qiyinlashtiradi va potentsiallar farqi erkin elektronlar konsentratsiyasi, chiqish ishlari va temperatura bilan aniqlanadigan tayinli bir qiymatga erishganda elektronlarning ortiqcha o‘tishi to‘xtaydi.

Shunday qilib, *turli tabiatli ikki metallni bir-biri bilan kontaktga keltirilganda ular orasida faqat shu metallarning kimyoviy tarkibi va temperaturasiga bog‘liq bo‘lgan potentsiallar farqi vujudga kelar ekan.*

Bu ta‘rif Voltaning birinchi qonuni deb ataladi. Uni 1797- yilda Volta tajribalar yo‘li bilan aniqlagan. $(\varphi_1 - \varphi_2)$ potentsiallar ayirmasi kontakt potentsiallar farqi deb ataladi.

Temperaturalari birday bo‘lgan bir necha (masalan, to‘rtta) turli metall o‘tkazgichlarni o‘zaro kontaktga keltiraylik (119- b rasm). Bir-biriga tegib turgan metall juftlari potentsiallari farqining yig‘indisi $(\varphi_1 - \varphi_2) + (\varphi_2 - \varphi_3) + (\varphi_3 - \varphi_4) = \varphi_1 - \varphi_4$ bo‘lishini ko‘ramiz.

Demak, *bir necha ketma-ket ulangan o‘tkazgichlardan tuzilgan ochiq zanjir uchlaridagi potentsiallar farqi ikki chekkadagi o‘tkazgichlar hosil qilgan kontakt potentsiallari farqiga teng va oradagi o‘tkazgichlarning soniga ham, tabiatiga ham bog‘liq emas.*

Volta tajribada aniqlagan bu ta‘rif Voltaning ikkinchi qonuni deyiladi.

Endi chekka o‘tkazgichlarni bevosita o‘zaro ulaylik (119- d rasm). U holda hosil bo‘lgan berk zanjirdagi potentsiallar farqining yig‘indisi yoki vujudga kelgan 1 elektr yurituvchi kuch

$$1 = (\varphi_1 - \varphi_2) + (\varphi_2 - \varphi_3) + (\varphi_3 - \varphi_4) + (\varphi_4 - \varphi_1) = 0$$

ekanligiga ishonch hosil qilish qiyin emas.

Shunday qilib bir xil temperaturali metall o‘tkazgichlardan tuzilgan berk zanjirda EYK nolga teng bo‘ladi, zanjirda tok hosil bo‘lmaydi.

63- §. Termoelekt r hodisasi. Termoelekt r yurituvchi kuch. Termopara

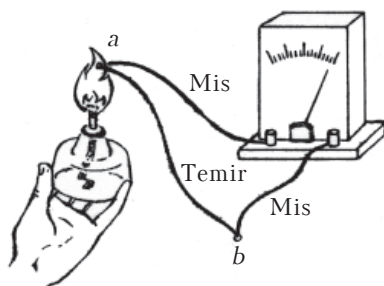
62- § da qayd etilganidek, birinchi jins o'tkazgichlardan tuzilgan berk zanjirda elekt r yurituvchi kuch vujudga kelmaydi. Biroq, turli o'tkazgichlar orasidagi kontaktlarning temperaturalari bir xil bo'lgandagina shunday bo'ladi. Kontaktlar temperaturalari har xil bo'lganda zanjirda noldan farqli elekt r yurituvchi kuch yuzaga keladi. Bunga quyidagi tajribada ishonch hosil qilish mumkin.

Agar ikkita metall dan, masalan, mis va temirdan berk zanjir tuzib, kontaktlardan birini, masalan, *b* ni sovuq qoldirgan holda ikkinchisi *a* ni gorelka bilan qizdirilsa (120- rasm), zanjirda tok oqa boshlaganini galvanometr strelkasining og'ishidan sezish mumkin. Agar, aksincha, *b* kontakt ni qizdirib, *a* kontakt sovuq qoldirilsa, bu holda ham zanjirda tok hosil bo'lganini galvanometr ko'rsatadi, lekin uning yo'nalishi birinchi holdagi tok yo'nalishiga qarama-qarshi bo'ladi. Bu tajribalar ikki metallning bir-biriga yondoshgan chegarsida hosil bo'lgan EYKning o'zi temperaturaga bog'liq ekanligini ko'rsatadi. O'tkazgichlarning yuqori temperaturali kontaktida potentsiallar farqi ko'proq, past temperaturali kontaktida potentsiallar farqi kamroq bo'ladi. Shuning uchun kontakt joylari turlicha temperaturali bo'lgan metallardan tuzilgan berk zanjirda barcha kontaktlarda hosil bo'lgan potentsiallar farqining yig'indisi nolga teng bo'lmaydi va zanjirda oqayotgan tok ni ta'minlab turuvchi EYK vujudga keladi.

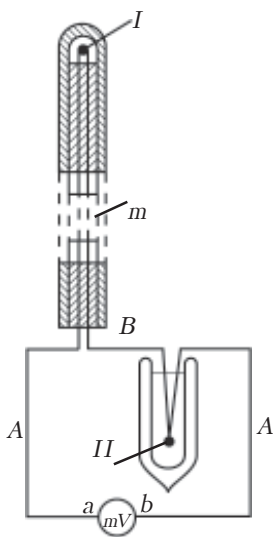
Bir-biri bilan kontaktga keltirilgan uchlarining temperaturalari turlicha bo'lgan turli metallardan tuzilgan berk zanjirda vujudga keladigan EYK ni termoelekt r yurituvchi kuch (TEYK) deb, hodisani esa termoelekt r hodisasi yoki termoelekt r effekt deb ataladi. Bu effekt ni 1821- yilda nemis fizigi T. Zeebek kashf qilgan.

Tajribalarning ko'rsatishicha, TEYK ning kattaligi kontaktga keltirilgan uchlar temperaturalarining ayirmasiga yetarli darajada aniqlik bilan to'g'ri proporsional ravishda o'sib boradi. Agar kontaktlardan birining temperaturasi T_1 , ikkinchisini T_2 va $T_2 > T_1$ bo'lsa, u holda TEYK ni

$$I = \alpha (T_2 - T_1) \quad (120)$$



120- rasm.



121- rasm.

ko‘rinishda ifodalash mumkin, bunda α — differensial TEYK deb ataladigan kattalik bo‘lib, issiq va sovuq kontaktlar temperaturalari ayirmasi bir gradus bo‘lganda hosil bo‘ladigan TEYK ga teng bo‘ladi. Uning son qiymati kontaktga keltirilgan metallarning tabiatiga hamda temperaturaga bog‘liq bo‘ladi.

Termoelektr hodisasidan temperaturani o‘lchashda foydalaniladi. Bunday maqsadda ishlatiladigan qurilma termopara yoki termoelement deb ataladi. 121- rasmda termopara tuzilishining sxematik ko‘rinishi tasvirlangan. U ikkita turli A va B metallardan iborat bo‘lib, simlarning uchlari o‘zaro kavsharlanadi yoki payvandlanadi (I va II payvandlar). Payvandlarni kimyoviy ta’sirlardan saqlash uchun ikkala sim m chinni nay ichiga joylashtiriladi (I payvand).

I payvand T temperaturasi o‘lchanishi kerak bo‘lgan sohaga joylashtiriladi, II payvand esa o‘zgarmas T_0 temperaturada (masalan, eriyotgan muz temperaturasi 0°C da) ushlab turiladi. Metall termoparalarda kontakt uchlarning temperaturalari farqi 100° ga teng bo‘lganda bir necha millivolt dan oshmaydigan kichik TEYK hosil bo‘ladi. Shuning uchun zanjirning a va b uchlari millivoltmetr ulanadi va uning yordamida zanjirda vujudga kelgan 1 termoelektr yurituvchi kuch o‘lchanadi. Ayni shu termoparaning α koeffitsiyentini bilgan holda aniqlanishi lozim bo‘lgan T temperatura (120) munosabatdan chiqarilgan quyidagi formula bo‘yicha hisoblanadi:

$$T = \frac{1 + \alpha T_0}{\alpha}. \quad (121)$$

Odatda millivoltmetr shkalasini bevosita temperatura graduslarida darajalaniladi.

Termoparalarning suyuqlikli (xususan, simobli) termometrlardan bir qator afzalliklari bor. Jumladan: 1) u juda sezgir; 2) temperatura inersiyasi kam; 3) temperaturalarning juda keng diapazonida ishlatilishi mumkin; 4) past temperaturalarni ham, yuqori temperaturalarni ham gradusning yuzdan bir ulushigacha aniqlik bilan o‘lchash mumkin; 5) muhitning kichik hajmlarining (amaliy jihat-

dan muhit nuqtalarining) temperaturasini o'ldashga imkon beradi va, nihoyat, 6) u bilan masofada turib o'ldash, ya'ni o'ldash joyidan uzoq masofalarda joylashgan yoki bevosita o'ldab bo'lmaydigan obyektlarning temperaturasini o'ldash mumkin.

Metall termoparalarning foydali ish koeffitsiyenti juda kam (0,5% dan oshmaydi). Foydali ish koeffitsiyentining bunday kamligi α differensial TEYK ning kichikligi hamda metallar issiqlikni yaxshi o'tkazishi sababli issiq payvanddan sovuq payvandga tomon kuchli issiqlik oqimining vujudga kelishi bilan aniqlanadi. Shuning uchun metall va ularning qotishmalaridan ishlangan termoparalardan tok manbai sifatida foydalanilmaydi. Bu jihatdan yarimo'tkazgichli termoparalardan foydalanish imkoniyati katta, ularning amalda ishlatilishi bilan keyinroq tanishamiz (72- § ga qarang).

64- §. Termoelektron energetik o'zgartgichlar

Tabiatda turli ko'rinishdagi energiyalar mavjudligi hamamizga ma'lum. Mexanik, issiqlik, elektr, yorug'lik, kimyoviy, atom energiyalar shular jumlasidandir. Ammo hozirgi zamonda insoniyatning hayotini va faoliyatini elektr energiyasiz tasavvur qilib bo'lmaydi.

Haqiqatan ham, yoritish, radio, televideniye, rentgen apparaturasi, turli-tuman aloqa apparatlarining, sanoatda foydalaniladigan uskunalar va qurilmalarning harakatlantiruvchi qismining asosi elektromotrlarning, tramvay, trolleybus, elektropoyezd kabi transport vositalarining ishlashi va shu kabi boshqa ko'pgina iste'molchilar uchun elektr energiya kerak. Bundan tashqari elektr energiyaning boshqa turdagi energiyalardan afzallik tomonlari mavjud. Jumladan, elektr energiyani mexanik ishga aylantirish ancha qulay, uni uzoq masofalarga uzatish mumkin, turli ko'rinishdagi, turli o'ldamli, turli quvvatli, foydali ish koeffitsiyenti yuqori bo'lgan dvigatellarni yaratish imkoniyatlari mavjud. Shuning uchun har turdagi energiyani bevosita, energiyaning ortiqcha oraliq o'zgarishlarisiz, iloji boricha tejimli va oddiy konstruktiv tuzilishga ega qurilmalar vositasida elektr energiyaga aylantirish masalasi hamma vaqt dolzarb masala bo'lib kelgan. Bu masalani yechish borasida olimlar shu vaqtgacha ishlab kelmoqdalar.

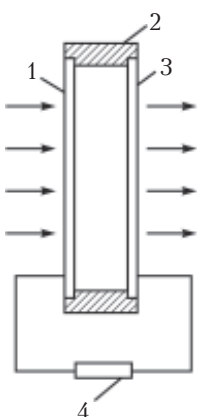
Tajribalar, ilmiy izlanishlarning ko'rsatishicha, texnikaning turli sohalari uchun elektr energiyani to'g'ridan-to'g'ri olishning termoelektron (yoki termoion), termoelektr, magnitogidrodinamik

(yoki magnetogazodinamik) va elektrokimyoviy usullari amaliy ahamiyatga ega ekan. Bularning birinchi uchtasidan issiqlik mashinalari hisoblanadigan tuzilmalar yordamida issiqlik energiyasini bevosita elektr energiyaga aylantirishda foydalanilsa, elektrokimyoviy usul yordamida oddiy yonilg'ining kimyoviy energiyasi elektr energiyaga aylantiriladi.

Issiqlik energiyasini elektr energiyaga bevosita aylantirib beradigan asboblarni energetik o'zgartgichlar deyiladi. Yuqorida qayd etilgan usullarning qaysi biridan foydalanib ishlashiga qarab energetik o'zgartgichlar mos ravishda termoelektron generatorlar, termoelektr generatorlar, magnetogidrodinamik generatorlar va yonilg'i elementlar deb ataladi.

56- § da magnetogidrodinamik generatorning tuzilishi va ishlash prinsipi bilan tanishgan edik. Bu generator vositasida yonilg'ining ichki energiyasi bevosita elektr energiyaga aylantirilishini eslatib o'iamiz. Termoelektr generatorning ishlashi termoelektr hodisaga asoslangan. 63- § da qayd etilganidek, metallar va ularning qotishmalaridan ishlangan termoparalardan tok manbayi sifatida foydalanilmaydi, chunki bunday tok manbayining foydali ish koeffitsiyenti juda kichik. Lekin yarimo'tkazgichlardan ishlangan termoparalar termoelektr generatori sifatida ishlatilishi mumkin (72- § ga qarang).

Endi termoelektron usuldan foydalanib, issiqlik energiyasini elektr energiyaga qanday aylantirish mumkinligi bilan tanishib chiqaylik.



122- rasm.

Issiqlik energiyasini elektr energiyaga o'zgartirishning termoelektron usuli termoelektron emissiya hodisasiga asoslangan (57- § ga qarang). 122- rasmda termoelektron generatorning prinsipial sxemasi keltirilgan. Sxemada 1- katod, 2- izolatorlar, 3- anod, 4- nagruzka (iste'molchi). Katodga tashqaridan issiqlik keltirib, uni elektronlar emissiyasi jarayonini ta'minlovchi temperatura-gacha qizdiriladi. Elektronlar emissiyasi boshlanadi. Elektronlarning katoddan anodga o'tishini osonlashtirish uchun anod bilan katod orasidagi fazoda vakuum hosil qilinadi. Katod sirtidan elektronlar otilib chiqadi va vakuum orqali anodga yetib borib, unga uriladi. Buning natijasida anod isiy

boshlaydi. Anodan issiqlikni tashqariga uzatib, uni sovutib turiladi, aks holda anodning temperaturasi ko'tarilib, tezda katodning temperaturasi bilan tenglashib qolishi mumkin. U holda termoelektronlarning katoddan anodga o'tish jarayoni to'xtaydi. Demak, termoelektron energetik o'zgartgichning ishlashi uchun katodni qizdirib, anodni sovutib turish lozim ekan.

Shunday qilib, termoelektronlarning katoddan anodga o'tishi natijasida elektrodlar orasida potentsiallar farqi vujudga keladi va berk tashqi zanjir bo'yicha R nagurzka orqali tok oqa boshlaydi (122- rasmga qarang).

Termoeletron generatorlardan turli maqsadlar uchun mo'ljallangan kichik quvvatli elektr energiya manbayi sifatida foydalaniladi.

Takrorlash uchun savollar



1. Gaz razryadi deb nimaga aytiladi? 2. Ionlashish qanday jaryon? 3. Mustaqil va nomustaqil gaz razryadlari orasidagi farq nimadan iborat? 4. Mustaqil razryadning qanday turlarini bilasiz? 5. Moddaning qanday holati plazma deyiladi? Noizotermik plazma deganda qanday plazmani tushunasiz? Izotermik plazma deganda-chi? 6. Magnitogidrodinamik generatorning tuzilishi va ishlash prinsipini tushuntiring. 7. Vakuumda elektr tokini qanday hosil qilinadi? 8. Elektronlar emissiyasi deganda nimani tushunasiz? Qanday turlarini bilasiz? 9. Termoelektron emissiyani tushuntiring. 10. Diod qanday asbob? U qanday tuzilgan? 11. Diodni o'z ichiga olgan eng oddiy elektr sxemani chizing. Anod va katod zanjirlari qanday qismlardan tarkib topgan? 12. Diodning volt-amper xarakteristikasini tushuntiring. 13. To'yinish toki qanday kattalik? 14. Triod qanday asbob? Uning tuzilishini tushuntiring. 15. Triodning to'r xarakteristikasi qanday ko'rinishga ega? 16. Tetrod va pentod haqida tushuncha bering. Dinatron effekt nima? 17. Elektron-nurli trubkaning tuzilishini sxematik tasvirlang va tushuntiring. 18. Elektronlar dastasi nima? Elektron zambarak-chi? 19. Kontakt potentsiallar farqi qanday kattalik? 20. Volta-ning birinchi va ikkinchi qonunlarini ta'riflang va izohlang. 21. Termoelektr hodisasining fizik mazmuni nimadan iborat? 22. Termopara qanday asbob? Uning afzalliklari nimadan iborat? 23. Energetik o'zgartkichlar haqida nimalarni bilasiz? 24. Termoelektron generatorning tuzilishi va ishlash prinsipini tushuntiring.



MASALA YECHISH NAMUNALARI

1- masala. Normal bosimda elektrtonning havodagi erkin yugurish yo'lining uzunligi 0,005 mm ga teng deb faraz qilib, zarb bilan ionlash sodir bo'lishi mumkin bo'lgan maydonning kuchlanganligini aniqlang.

Ionlashish sodir bo'lishi uchun elektron $24 \cdot 10^{-19}$ J energiyaga ega bo'lishi lozim.

$$\text{Berilgan: } \lambda = 0,005\text{mm} = 5 \cdot 10^{-6}\text{m}; \quad W_i = 24 \cdot 10^{-19}\text{ J}; \quad e=1,6 \cdot 10^{-19}\text{ C}.$$

$$E-?$$

Yechilishi. Elektr maydonda harakatlanayotgan elektronning λ masofada erishgan energiyasi $W_e = e(\varphi_1 - \varphi_2)$ ga teng, bunda φ_1 va φ_2 — elektron o'tgan yo'lining boshlang'ich va oxirgi nuqtalaridagi potentsiallar.

$$\text{Bu ifodadan } \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{W_e}{e}.$$

Maydon kuchlanganligi bilan potentsiallar farqi orasidagi bog'lanish esa $\varphi_1 - \varphi_2 = E\lambda$. Bu ikki ifodadan quyidagilarni yozish mumkin:

$$E \cdot \lambda = \frac{W_e}{e}, \quad \text{bundan } E = \frac{W_e}{e\lambda}.$$

Agar elektron molekula bilan to'qnashganda hamma energiyasini molekulani ionlash uchun sarflaydi deb hisoblasak, ya'ni $W_e = W_i$ bo'lsa, u holda yuqoridagi ifodani hosil qilamiz.

$$\text{Hisoblash: } E = \frac{24 \cdot 10^{-19}\text{ J}}{1,6 \cdot 10^{-19}\text{ C} \cdot 5 \cdot 10^{-6}\text{ m}} = 3 \cdot 10^6 \frac{\text{V}}{\text{m}}.$$

2- masala. To'yinish toki 10 mA bo'lganda katod o'zidan har sekunda qancha elektrton chiqaradi?

$$\text{Berilgan: } I_t = 10\text{mA} = 10^{-2}\text{A}; \quad e = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{ C}.$$

$$N-?$$

Yechilishi. Tok kuchi $I = \frac{q}{t}$, bunda q — katoddan t vaqt ichida chiqqan zaryad miqdori. Bu zaryad miqdori $q = eNt$ ga teng, bunda N — katodning sirtidan har sekunda ajralib chiqqan elektronlar sonini ifodalaydi.

To'yinish tokida birlik vaqt ichida katoddan chiqqan barcha elektronlar shu vaqt ichida anodga yetib keladi. Shuning uchun $I_t = \frac{q}{t} = eN$, bundan izlanayotgan kattalikni topamiz:

$$N = \frac{I_t}{e}.$$

$$\text{Hisoblash: } N = \frac{10^{-2}\text{ A}}{1,6 \cdot 10^{-19}\text{ C}} = 6,3 \cdot 10^{16} \frac{1}{\text{s}}.$$

3- masala. Elektron eng kamida qanday tezlik bilan harakatlanganda vodorod atomini ionlashtira oladi? Vodorod atomining ionlashish potentsiali 13,5 V.

Berilgan: $U_i = 13,5 \text{ V}; m = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}; e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}.$
 $v - ?$

Yechilishi. Atom yoki molekulani ionlashtirish uchun tezlashtiruvchi maydonda elektron o'tishi zarur bo'lgan potentsiallar farqining eng kichik qiymati shu atom yoki molekulaning ionlashish potentsiali deb ataladi. Shu potentsiallar farqini o'tganda elektronning olgan kinetik energiyasi atomning ionlashish energiyasiga teng bo'ladi:

$W_e = W_i$ yoki $\frac{mv^2}{2} = eU_i$, bunda m va e – elektronning massasi va zaryadi. U holda tezlik

$$v = \sqrt{\frac{2eU_i}{m}}$$

ifodadan aniqlanadi.

Hisoblash: $v = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 13,5 \text{ V}}{9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}}} = 2,2 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$

4- masala. Ossillografning elektron-nur trubkasida dastadagi elektronnarning ekran yaqinidagi konsentratsiyasini aniqlang. Dasta kesimi yuzasi $1,0 \text{ mm}^2$, tok kuchi $1,6 \mu\text{A}$. Elektronlar katoddan boshlang'ich tezliksiz uchib chiqib, katod bilan anod orasidagi potentsiallar farqi $28,5 \text{ kV}$ bo'lgan elektr maydonida tezlashtiriladi.

Berilgan:

$S = 1 \text{ mm}^2 = 1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2; I = 1,6 \mu\text{A} = 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ A}; U = 28,5 \text{ kV} = 28,5 \cdot 10^3 \text{ V}.$
 $n - ?$

Yechilishi. Elektron dastadagi tok kuchi quyidagicha ifodalanadi:

$$I = iS = envS, \quad (a)$$

bu yerda: i – tok zichligi, e – elektron zaryadi, n – elektronlar konsentratsiyasi, v – elektronlarning ekran yaqinidagi tezligi. Elektron U potentsiallar farqini o'tganda kinetik energiyasi $\frac{mv^2}{2}$ ga, elektr maydonning bajargan ishi eU ga teng bo'ladi. Energiyaning saqlanish qonuniga binoan,

$$eU = \frac{mv^2}{2}$$

bo'ladi. Bundan elektronlarning erishgan tezligi

$$v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$$

bo'ladi. v ning ifodasini (a) munosabatga keltirib qo'ysak, u holda elektronlarning konsentratsiyasi uchun quyidagini olamiz:

$$n = \frac{I}{evS} = \frac{I}{eS} \sqrt{\frac{m}{2eU}}$$

$$\text{Hisoblash: } n = \frac{1,6 \cdot 10^{-6} \text{ A}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 10^{-6} \text{ m}^2} \sqrt{\frac{9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}}{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 28,5 \cdot 10^3 \text{ V}}} = 1 \cdot 10^{11} \text{ m}^{-3}.$$

5- masala. Muhit temperaturasini o'lchash uchun unga ichki qarshiligi $2k\Omega$ va shkalasi bo'limining qiymati 10 nA bo'lgan galvanometrga ulangan, $\alpha = 0,5 \frac{\mu\text{V}}{\text{K}}$ doimiyli nikel-xrom termoparaning bir kavshari tushiriladi. Agar ikkinchi kavshar temperaturasi 15°C bo'lganda galvanometr strelkasining og'ishi 25 bo'limni tashkil qilsa, muhitning temperaturasi qanday bo'ladi?

$$\text{Berilgan: } R_g = 2k\Omega = 2 \cdot 10^3 \Omega; \alpha = 0,5 \frac{\mu\text{V}}{\text{K}} = 0,5 \cdot 10^{-6} \frac{\text{V}}{\text{K}}; a = 10 \frac{\text{nA}}{\text{bo'lim}} =$$

$$= 10 \cdot 10^{-9} \frac{\text{A}}{\text{bo'lim}}; n = 25 \text{ bo'lim}; t_1 = 15^\circ\text{C}.$$

$$t_2 - ?$$

Yechilishi. Termoelektr yurituvchi kuchning $1 = \alpha(t_2 - t_1)$ formulasidan muhitning t_2 temperaturasi

$$t_2 = \frac{1}{\alpha} + t_1 \quad (\text{a})$$

bo'ladi. Ikkinchi tomondan, Om qonuniga binoan,

$$1 = I(R + R_g),$$

bunda R termoparaning qarshiligi. Lekin termoparaning qarshiligi galvanometrning ichki qarshiligidan ancha kichik ($R \ll R_g$) bo'ladi, shuning uchun uni hisobga olmasak, $1 = IR_g$. Tok kuchi esa $I = na$ bo'ladi, demak, $1 = naR_g$. 1 ning bu ifodasini (a) munosabatga keltirib qo'yamiz va t_2 temperatura uchun quyidagi ifodani olamiz:

$$t_2 = \frac{naR_g}{\alpha} + t_1.$$

$$\text{Hisoblash: } t_2 = \frac{25 \text{ bo'lim } 10 \cdot 10^{-9} \frac{\text{A}}{\text{bo'lim}} 2 \cdot 10^3 \Omega}{0,5 \cdot 10^{-6} \frac{\text{V}}{\text{K}}} + 15^\circ\text{C} = 1015^\circ\text{C}.$$



MUSTAQIL YECHISH UCHUN MASALALAR

76. Nima uchun elektr mashinalar va elektroskoplarning metall qismlari o'tkir qirralarsiz yasaladi va uchlariga metall sharchalar o'rnatiladi?

77. Nima uchun momaqaldiroq vaqtida radiopriyomnik anteninasini yerga ulab qo'yish zarur?

78. Agar elektron lampaning ichidagi havo yaxshi so'rib olinmagan bo'lsa va unda oz miqdorda gaz qolsa, u holda lampaning katodi tez yemiriladi. Nima uchun?

79. Agar Yer bilan bulut orasidagi potentsiallar farqi 10^8 V, razryad energiyasi $2 \cdot 10^9$ J bo'lsa, razryad vaqtida o'tgan elektronlarning sonini toping.

80. Simob atomlarining ionlashish energiyasi 10,4 eV, simob atomini zarb bilan ionlash uchun elektron eng kamida qanday tezlikka ega bo'lishi kerak?

81. Yuzi 100 sm^2 dan bo'lgan plastinkalar orasidagi masofa qanday bo'lganda to'yinish toki 10^{-10} A bo'ladi? Ionlagich 1 sm^3 gaz hajmida har sekundda $12,5 \cdot 10^6$ juft ion hosil qiladi.

82. Diod lampada maksimal anod toki 50 mA. Har sekundda katoddan nechta elektron uchib chiqadi?

83. Havo molekulasining ionlashish energiyasi 15 eV. Molekulani zarb bilan ionlash uchun elektron yugurish yo'lining o'rtacha uzunligi qanday bo'lishi kerak? Normal bosimda havoda razryad maydon kuchlanganligi $3 \cdot 10^6 \frac{\text{V}}{\text{m}}$ bo'lganda yuzaga keladi.

84. Elektr yoyining qarshiligi $0,2 \Omega$, ko'mir elektrodlar orasidagi potentsiallar farqi 50 V. Yoydagi tok kuchi va bir minutda ajraladigan issiqlik miqdorini toping.

85. Termoelektrik doimiysi $50 \frac{\mu\text{V}}{\text{K}}$ bo'lgan termoelementning kavsharlangan uchlari temperaturalarining farqi 500 K. Termoelementning elektr yurituvchi kuchini toping.

86. Agar termopara qarshiligi 6Ω , u bilan o'lchanishi mumkin bo'lgan eng kichik temperaturalar farqi 6 mK bo'lsa, shkalasi bo'limining qiymati $15 \frac{\text{nA}}{\text{bo'lim}}$ bo'lgan galvanaometr qarshiligini toping. Termopara doimiysi $50 \frac{\text{mV}}{\text{K}}$, galvanometr strelkasi 10 bo'limga og'gan.

65- §. Yarimo‘tkazgichlarda elektr toki

Bir qator moddalarning solishtirma qarshiligi kattalik jihatdan metallar bilan dielektriklar solishtirma qarshiliklari orasida yotadi. Shuning uchun bu moddalarning elektr o‘tkazuvchanliklari metallar bilan izolatorlarning elektr o‘tkazuvchanliklari orasidagi oraliq holatni egallaydi. Bunday moddalar yarimo‘tkazgichlar deb ataladi. Mendeleyev davriy sistemasida III, IV, V va VI gruppalaridan o‘rin olgan ko‘pchilik elementlar, bir qator birikmalar va qotishmalar yarimo‘tkazgichlar qatoriga kiradi.

Yarimo‘tkazgichlarda ham metallardagi kabi elektr o‘tkazuvchanlik elektronlarning harakati bilan yuzaga keladi. Biroq elektronlarning harakatlanish sharoitlari metallarda va yarimo‘tkazgichlarda turlicha bo‘ladi. Yarimo‘tkazgichlar metallardan farqli holda quyidagi asosiy xususiyatlarga ega:

a) yarimo‘tkazgichlarning elektr o‘tkazuvchanligi temperatura ko‘tarilishi bilan ortib boradi. Masalan, temperatura 1 K ortganda yarimo‘tkazgichning solishtirma o‘tkazuvchanligi o‘rtacha 16–17 marta ortadi. Metallarda esa, aksincha, temperatura ortishi bilan o‘tkazuvchanlik kamayib boradi;

b) yarimo‘tkazgichlardagi elektr o‘tkazuvchanlikda erkin elektronlardan tashqari atom bilan bog‘langan elektronlar ham ishtirok etadi. Ba’zi hollarda ularning elektr o‘tkazuvchanligida bog‘langan elektronlar asosiy rol o‘ynaydi; metallarda esa faqat erkin elektronlar ishtirok yetadi;

d) sof yarimo‘tkazgichga ozgina miqdorda aralashma kiritib, uning o‘tkazuvchanligini keskin o‘zgartirish mumkin. Masalan, taxminan 0,01% aralashma kiritilganda yarimo‘tkazgichning o‘tkazuvchanligi o‘n minglab marta ortib ketadi.

Tajribalarning ko‘rsatishicha, metallarda erkin elektronlarning konsentratsiyasi temperaturaga bog‘liq emas. Metallarda hatto eng past temperaturalarda ham ko‘p sonli erkin elektronlar bo‘ladi. Bu shuni bildiradiki, metallarda o‘tkazuvchanlik elektronlarining hosil bo‘lishida issiqlik harakati deyarli ishtirok etmaydi. Shu sababli metall temperaturasining ko‘tarilishi unda erkin elektronlar konsentratsiyasini amalda o‘zgartirmaydi, faqat metall zarralarining xaotik harakatining zo‘rayishiga olib keladi. Shuning uchun temperatura ko‘tarilganda metallarning qarshiligi ortadi.

Yarimo‘tkazgichlarning elektr o‘tkazuvchanligi ham metallardagi kabi elektronlar harakati bilan bog‘liq. Yarimo‘tkazgichlar ham birinchi jins o‘tkazgichlariga kiradi va ulardan tok o‘tganda hech qanday kimyoviy o‘zgarishlar sodir bo‘lmaydi.

Past temperaturalarda bunday o'tkazgichlarning solishtirma qarshiligi juda katta bo'ladi va amalda izolator hisoblanadi. Lekin ularda zaryad tashuvchilarning konsentratsiyasi temperatura ortishi bilan keskin ortadi, solishtirma qarshiligi keskin kamayadi va yetarlicha yuqori temperaturalarda juda kam bo'ladi. Masalan, tajribalarning ko'rsatishicha, sof kremniyda uy temperaturasida elektronlar konsentratsiyasi 10^{17}m^{-3} dan kichik (solishtirma qarshiligi $10^3 \Omega \cdot \text{m}$ dan katta) bo'lsa, 700°C temperaturada elektronlar konsentratsiyasi $10^{24} \text{m}^{-3} \Omega \cdot \text{m}$ gacha ko'tariladi (solishtirma qarshiligi esa $10^{-3} \Omega \cdot \text{m}$ gacha kamayadi), ya'ni million martadan ko'proq ortadi.

Yarimo'tkazgichlarda zaryad tashuvchilar konsentratsiyasining temperaturaga bunday keskin bog'liqligi shuni ko'rsatadiki, bunda o'tkazuvchanlik elektronlari issiqlik harakati ta'sirida hosil bo'ladi. Yarimo'tkazgichlarda atomlararo ta'sirning o'zi atomlardan elektronlarni uzib olish va ularni o'tkazuvchanlik elektronlariga aylantirish uchun yetarli emas. Buning uchun hatto ancha sust bog'langan elektronlarga ham tashqaridan biror qo'shimcha energiya — ionlanish energiyasi berish lozim. Bu energiyani, masalan, yarimo'tkazgichni qizdirish yoki yoritish yo'li bilan berish mumkin. Temperatura qancha yuqori bo'lsa, shuncha ko'p elektronlar ionlanish energiyasiga teng yoki undan katta issiqlik energiyaga ega bo'ladilar, binobarin, shuncha ko'p elektronlar atomlar bilan bog'lanishdan ozod qilinadi va o'tkazuvchanlik elektronlari safiga qo'shiladi.

Yarimo'tkazgichlar xususiy va aralashmali o'tkazuvchanlikli yarimo'tkazgichlarga bo'linadi. Ba'zi soddalashtirilgan tasavvurlar va sxemalardan foydalanib, shu o'tkazuvchanliklarni ko'rib chiqaylik.

66- §. Yarimo'tkazgichlarda xususiy elektr o'tkazuvchanlik

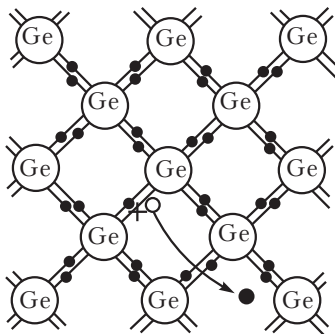
Kristall yarimo'tkazgichning qo'shni atomlari o'zaro valent (tashqi) elektronlar bilan bog'langan. Ikki elektronli bog'lanish (bunday bog'lanishni k o v a l e n t b o g ' l a n i s h deyiladi) eng mustahkam bog'lanish hisoblanadi. Bunda har ikki atom tashqi elektron qatlamlarida ikkitadan umumiy elektron bo'ladi. Masalan, yarimo'tkazgichlar texnikasida katta ahamiyatga ega bo'lgan Ge germaniyni olaylik. U to'rt valentli bo'lib, atomi to'rtta tashqi elektronga ega. Har bir atom o'ziga qo'shni bo'lgan to'rtta atom

bilan shu valent elektronlar orqali bog‘langan: valent elektronlarning har biri ayni vaqtda to‘rtta qo‘shni atomlardan biriga tegishlidir. 123- rasmda germaniy atomlari orasidagi elektron bog‘lanishlarning tekislikdagi sxemasi ko‘rsatilgan. Rasmda nuqtalar bilan valent elektronlar tasvirlangan. Absolut nol temperaturada va hech qanday tashqi ta‘sir (isitish, yoritish va hokazo) bo‘lmaganda bunday tuzilishga ega bo‘lgan kristall dielektrik hisoblanadi, chunki unda hech qanday tok tashuvchilar mavjud emas. Lekin tashqi energiya berish orqali valent elektronlarni atomdan uzib, erkin elektronlarga aylantirish mumkin.

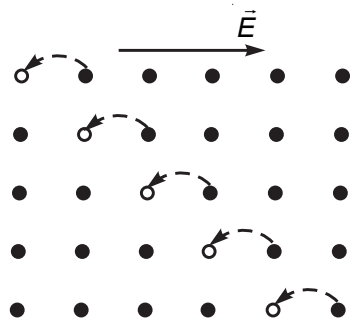
Elektr maydon bo‘lmaganda ular metallardagi erkin elektronlar kabi xaotik harakat qiladi. Elektr maydon ta‘sirida esa elektronlar maydonga qarama-qarshi yo‘nalishda harakatlanib, yarimo‘tkazgichda tok hosil bo‘ladi. Erkin elektronlarning harakatidan yuzaga keladigan o‘tkazuvchanlik elektron o‘tkazuvchanlik yoki n -tip o‘tkazuvchanlik deyiladi.

Biroq yarimo‘tkazgichlarda o‘tkazuvchanlik elektronlari yordamida zaryad ko‘chirish jarayonidan tashqari elektr o‘tkazuvchanlikning boshqa mexanizmi ham mavjud. Gap shundaki, uzib olingan elektronning sobiq bog‘lanish sohasidan ketishi shu sohada elektron zaryadiga kattalik jihatidan teng bo‘lgan musbat zaryad — „teshik“ning paydo bo‘lishiga olib keladi (123- rasmda qarang, doiracha bilan „teshik“ tasvirlangan). Shunday qilib, elektron ozod bo‘lishi bilan bir vaqtda teshik hosil bo‘ladi. Uzilgan bog‘lanish qo‘shni bog‘lanishning ixtiyoriy bog‘langan elektroni hisobiga tiklanishi mumkin.

Uzilgan bog‘lanishlar (teshiklar) mavjud bo‘lganda yarimo‘tkazgichda bog‘langan elektronlarning bir qo‘shni bog‘lanishdan



123- rasm.



124- rasm.

ikkinchisiga va, ayni vaqtda, teshiklarning elektronlar harakatiga qarama-qarshi yo'nalishda o'tishlari (sakrashlari) boshlanadi. Tashqi elektr maydon bo'lmaganda bunday o'tishlar xaotik tarzda ro'y beradi. Agar yarimo'tkazgichni elektr maydonga kiritsak, xaotik harakat tartiblashib, bog'langan elektronlar maydonga qarshi, teshiklar esa maydon bo'ylab ko'chadi (124- rasm, bu yerda nuqtalar bilan elektronlar, doirachalar bilan bo'sh o'rinlar – teshiklar tasvirlangan).

Teshiklarning tartiblashgan harakati yarimo'tkazgichda tok hosil qiladi. Teshiklarning ko'chishi bilan bog'liq bo'lgan o'tkazuvchanlik teshikli o'tkazuvchanlik yoki p -tip o'tkazuvchanlik deyiladi.

Teshiklar elektronning ozod bo'lishida hosil bo'lgani uchun yarimo'tkazgichdagi teshiklar soni erkin elektronlar soniga teng bo'ladi. Tajriba va hisoblashlar erkin elektronlar va teshiklarning taxminan bir xil tezlik bilan harakatlanishini ko'rsatadi. Shuning uchun yarimo'tkazgichdagi tok ayni vaqtda ham elektron, ham teshikli o'tkazuvchanlikdan vujudga keladi. Bunday elektron-teshikli o'tkazuvchanlik yarimo'tkazgichning xususiy o'tkazuvchanligi deyiladi. Sof yarimo'tkazgichda xususiy o'tkazuvchanlik bo'ladi. Sof yarimo'tkazgichning solishtirma elektr o'tkazuvchanligi quyidagiga teng:

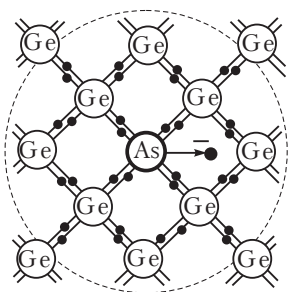
$$\gamma = e(n_e b_e + n_p b_p), \quad (122)$$

bu yerda: n_e, n_p – mos ravishda, erkin elektronlar va teshiklar konsentratsiyasi, b_e, b_p – elektron va teshiklarning harakatchanligi, e – elektron zaryadi.

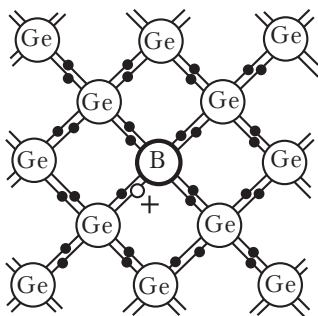
67- §. Yarimo'tkazgichlarda aralashmali elektr o'tkazuvchanlik

Juda sof yarimo'tkazgichlar tabiatda yo'q, ularda hamma vaqt ozmi-ko'pmi aralashmalar mavjud. Holbuki, yarimo'tkazgichda ozgina aralashmaning bo'lishi uning elektr o'tkazuvchanligiga juda katta ta'sir ko'rsatadi. Ba'zi aralashmalar yarimo'tkazgichni erkin elektronlar bilan boyitadi va unda elektron o'tkazuvchanlikni oshiradi. Ba'zi aralashmalar esa yarimo'tkazgichni teshiklar bilan boyitadi va unda teshikli o'tkazuvchanlikni oshiradi.

Aralashma yuzaga keltiradigan o'tkazuvchanlikning tabiatini yaxshiroq tushunish uchun tipik yarimo'tkazgich – germaniyning



125- rasm.



126- rasm.

kristall panjarasida aralashma qanday ta'sir ko'rsatishini mufassalroq ko'rib chiqaylik. Germaniyga juda oz miqdorda margimush (As) kiritaylik. Margimush beshinchi grupp element bo'lib, besh valentlidir. Margimush atomi kristall panjaradagi germaniy atomlaridan birining o'rnini egallab, o'zining to'rtta elektroni orqali qo'shni to'rtta germaniy atomi bilan bog'lanadi, beshinchi elektron ortiqcha bo'lib, atomlararo bog'lanishda qatnashmaydi va panjaralar orasida erkin elektron bo'lib qoladi (125- rasm), natijada germaniy erkin elektronlar bilan boyiydi. Bu holda teshiklar soni o'zgarmaydi, chunki erkin elektronlarning hosil bo'lishi atomlararo bog'lanishni uzmaydi. Bunda zaryad tashuvchi zarralar, asosan, elektronlardan iborat bo'ladi. Shuning uchun aralashmali yarimo'tkazgichlarda elektron o'tkazuvchanlik asosiy o'tkazuvchanlik bo'lib qoladi. Elektronlar konsentratsiyasini orttiruvchi aralashma donor (beruvchi) aralashma, bunday aralashmali yarimo'tkazgich esa n - tip (elektron) yarimo'tkazgich deyiladi.

Endi germaniyga bor (B)dan juda oz miqdorda kiritaylik. Bor uch valentli element bo'lgani sababli uning biror atomi germaniyning kristall panjara tugunlaridan biriga joylashganda o'zidagi uchta valent elektron orqali qo'shni uchta germaniy atomi bilan bog'lanadi, to'rtinchi qo'shni germaniy atomi bilan bog'lanish mustahkam bo'lmaydi, chunki borda to'rtinchi tashqi elektron yo'q. Shuning uchun, borning kiritilgan har bir atomi yarimo'tkazgichda bittadan „teshik“ hosil qiladi (126- rasm), germaniy teshiklar bilan boyiydi, lekin erkin elektronlarning soni ortmaydi. Shuning uchun, bunday aralashmali yarimo'tkazgichda teshikli o'tkazuvchanlik asosiy o'tkazuvchanlik bo'ladi. Teshiklar sonini orttiruvchi aralashma aksetrop (qabul qiluvchi) aralashma, bunday aralashmali yarimo'tkazgich esa p - tip (te-

shikli) yarimo'tkazgich deyiladi. Shunday qilib, yarimo'tkazgichga oz miqdorda tegishli aralashmalarni kiritish yo'li bilan yarimo'tkazgichning o'tkazuvchanligini keng chegaralarda kattaligini, hatto turini ham o'zgartirish mumkin ekan.

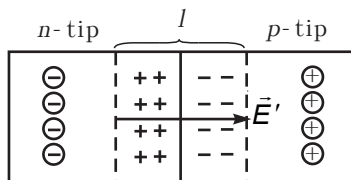
Yuqorida aytilganlardan ko'rinadiki, yarimo'tkazgichlarning elektr o'tkazuvchanligi xususiy va aralashmali o'tkazuvchanliklar yig'indisidan iborat bo'ladi, ammo yuqori temperaturalarda xususiy o'tkazuvchanlik, past temperaturalarda esa aralashmali o'tkazuvchanlik asosiy rol o'ynaydi.

68- §. Yarimo'tkazgichli diod

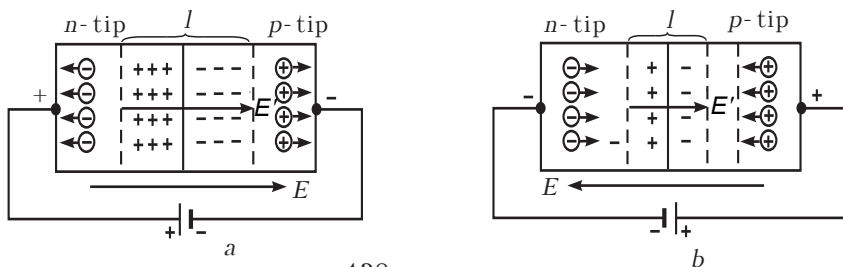
Turli tipdagi ikki yarimo'tkazgichni bir-biriga zich tekizilganda kontakt sohasida muhim hodisa ro'y beradi. n -tip yarimo'tkazgichda erkin elektronlar konsentratsiyasi, p -tip yarimo'tkazgichda teshiklar konsentratsiyasi yuqori bo'lgani uchun ularning o'zaro tegishish sirtlari orqali elektronlarning n -tip yarimo'tkazgichdan p -tip yarimo'tkazgichga diffuziyasi ($n \rightarrow p$ o'tish) va teshiklarning qarama-qarshi yo'nalishda diffuziyalanishi ($p \rightarrow n$ o'tish) vujudga keladi. Natijada chegara qatlami p -tip yarimo'tkazgich tomonidan manfiy, n -tip yarimo'tkazgich tomonidan musbat zaryadlanib qoladi va kontakt zonada „qo'sh elektr qatlami“ hosil bo'ladi (127- rasm). Bu qatlamda hosil bo'lgan E' kuchlanganlikli maydon elektronlarning $n \rightarrow p$ o'tish yo'nalishida bo'lib, teshiklarning $p \rightarrow n$ o'tish yo'nalishidagi endigi o'tishlariga to'sqinlik qiladi. Natijada E' ning ma'lum bir qiymatida muvozanat yuzaga keladi va elektronlar hamda teshiklarning o'tishi to'xtaydi.

Qatlamning qalinligi taxminan $l = 10^{-5}$ sm tartibida bo'lib, 0,1 V ga yaqin potentsiallar ayirmasi hosil bo'ladi. Bunday potentsiallar ayirmasini kinetik energiyalari bir necha ming kelvin temperaturaga mos keladigan darajada katta bo'lgan elektronlar va teshiklar yengib o'ta olishlari mumkin. Normal temperaturada l qatlamda elektronlarning $n \rightarrow p$ yo'nalishda, teshiklarning $p \rightarrow n$ yo'nalishda o'tishlariga juda katta qarshilik ko'rsatiladi. Shuning uchun l qatlam berkituvchi qatlam deb ataladi.

Berkituvchi qatlamning qalinligini tashqi elektr maydon ta'sirida o'zgartirish – kengaytirish yoki toraytirish mumkin.



127- rasm.



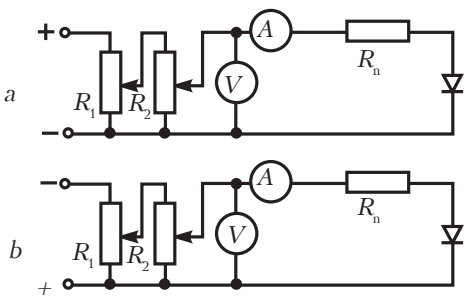
128- rasm.

1. n - tip yarimo‘tkazgichga tok manbayining musbat qutbini, p - tip yarimo‘tkazgichga esa uning manfiy qutbini ulaylik (128- *a* rasm). U holda tashqi E maydonning yo‘nalishi E' maydon yo‘nalishi bilan mos tushib, erkin elektronlar va teshiklarni yarimo‘tkazgichlarning kontakt sohalaridan yanada nariga surib yuboradi, ya‘ni berkituvchi qatlam k e n g a y a d i, uning qarshiligi ortadi. Kontakt orqali tok o‘tmaydi (faqat xususiy o‘tkazuvchanlikka oid zaif tok o‘tadi, xolos). Amalda tok o‘tkazmaydigan $n \rightarrow p$ yo‘nalishni berkituvchi yo‘nalish, $n \rightarrow p$ o‘tishni esa teskari o‘tish deyiladi.

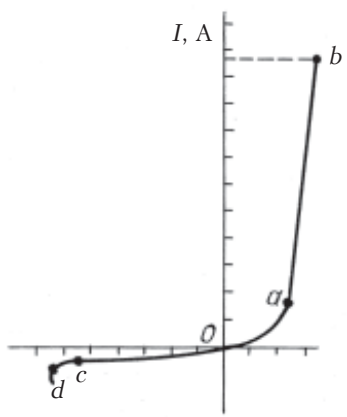
2. Endi tok manbayining musbat qutbini p - tip yarimo‘tkazgichga, manfiy qutbini esa n - tip yarimo‘tkazgichga ulaylik (128- *b* rasm). Bu holda E maydon kuchlanganligi E' kuchlanganlikka qarama-qarshi yo‘nalgan bo‘lib, erkin elektronlar va teshiklarni bir-biri bilan uchrashuvchi yo‘nalishda ko‘chiradi. Berkituvchi qatlam t o r a y i b, uning qarshiligi ham kamayadi va E ning biror aniq qiymatida yarimo‘tkazgichlarning xususiy qarshiligiga teng bo‘lib qoladi. Go‘yo berkituvchi qatlam yo‘qoladi, yarimo‘tkazgich orqali kuchli tok o‘ta boshlaydi. Shuning uchun $p \rightarrow n$ yo‘nalish o‘tkazuvchi yo‘nalish, $p \rightarrow n$ o‘tish esa t o ‘ g ‘ r i o ‘ t i s h deb ataladi.

Yuqoridagilardan ko‘rinadiki, berkituvchi qatlam ventilli (bir tomonlama) o‘tkazuvchanlik xossasiga ega bo‘ladi. Berkituvchi qatlamning bu xossalardan yarimo‘tkazgichli lampalar – d i o d va t r i o d l a r d a foydalaniladi.

Yarimo‘tkazgichli diodning volt-amper xarakteristikasini olish uchun diodning 129- rasmda ko‘rsatilgan sxema bo‘yicha elektr zanjiri yig‘iladi. R_1 va R_2 reostatlar yordamida diodga beriladigan kuchlanish kattaligini o‘zgartira borib, V voltmetr va A ampermetr yordamida kuchlanishning va unga mos kelgan tok kuchining qiymatlari aniqlanadi. Yarimo‘tkazgichli diod orqali o‘tgan tok



129- rasm.

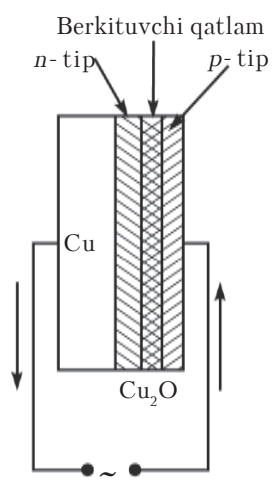


130- rasm.

kuchining kuchlanishga bog‘lanishi 130- rasmda berilgan. Egri chiziqning Oab tarmog‘i o‘tish tokiga (uni zanjirni 129- *a* rasmdagidek ulash bilan hosil qilinadi). Ocd tarmoq esa yarimo‘tkazgichlarning xususiy o‘tkazuvchanligi bilan bog‘liq bo‘lgan zaif teskari tokka (uni zanjirni 129- *b* rasmdagidek ulash bilan hosil qilinadi) mos keladi.

Shunday qilib, berkituvchi qatlamning ventilli o‘tkazuvchanlik xossasi o‘zgaruvchan tokni to‘g‘rilash uchun foydalanishga imkon beradi.

Elektrotexnika va radiotexnikada mis(II) oksidli, selenli, germaniyli va kremniyli diodlar eng ko‘p qo‘llaniladi. 131- rasmda mis (II) oksidli (kuporosli) to‘g‘rilagichning prinsipial sxemasi berilgan. Cu mis plastinkaga mis (II) oksidning qatlami surtilgan. Mis (II) oksid qatlamining mis plastinkaga tegib turgan qismi mis aralashmasi bilan boyiydi va *n*- tip yarimo‘tkazgich bo‘lib qoladi. Mis (II) oksidning tashqi qismi yarimo‘tkazgichli to‘g‘rilagichni tayyorlash jarayonida kislorod bilan boyitiladi va u *p*-tip yarimo‘tkazgich bo‘lib qoladi. Shuning uchun mis (II) oksidning qatlami qalinligida tokni mis (II) oksiddan mis tomonga yo‘nalishda o‘tkazuvchi ($p \rightarrow n$) berkituvchi qatlam hosil bo‘ladi. Agar shunday tayyorlangan plastinkani tok manbayi zanjiriga ulansa,



131- rasm.

mis (II) oksiddan mis plastinka tomon kuchli tok o'tadi, teskari yo'nalishda juda zaif tok o'tadi.

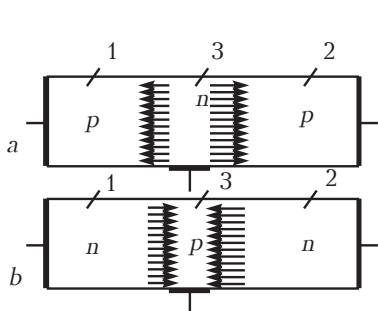
Boshqa yarimo'tkazgichli to'g'rilagichlar ham shunday prinsipda ishlaydi.

69- §. Yarimo'tkazgichli triod

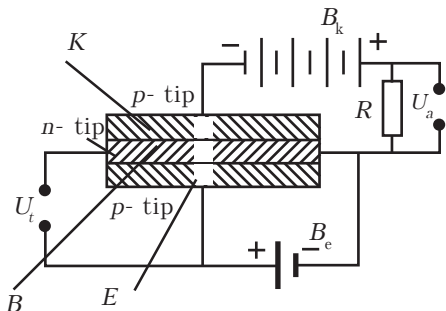
Yarimo'tkazgichlardan triodlar ham tayyorlanadi, ularni tranzistorlar deb ataladi.

Tranzistor ikkita p - tip va bitta n - tip yoki ikkita n - tip va bitta p - tip yarimo'tkazgich plastinkalardan iborat bo'lib (132-rasm), ular bir-biri bilan kontaktga keltiriladi. Bunda ikkita berkituvchi qatlam (o'zaro qarama-qarshi yo'nalishlarda) hosil bo'ladi. Chekkadagi, mos ravishda, emitter va kollektor deb ataladigan 1- va 2- plastinkalar teshikli (yoki elektronli) o'tkazuvchanlikka, o'rtadagi baza (asos) deb ataladigan 3- plastinka elektronli (yoki teshikli) o'tkazuvchanlikka ega. Bazaning tuzilishiga qarab tranzistorlar $p-n-p$ yoki $n-p-n$ tipda bo'lishi mumkin, ammo ishlash prinsipi bir xil.

$p-n-p$ tip tranzistorning ishlash prinsipi bilan tanishib chiqaylik. Bunday tranzistorni tayyorlash uchun elektron o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan germaniydan ishlangan plastinka olinadi va uning har ikki tomoniga indiy eritib quyiladi. 133- rasmda zaif kuchlanish tebranishlarni kuchaytiruvchi tranzistorli kuchaytirgichning eng sodda sxemasi berilgan. Bunda B_k batareya B baza va K kollektor orasida berkituvchi yo'nalishda (p - tip yarimo'tkazgich batareyaning manfiy qutbiga) ulangan, shuning uchun kollektor tok hosil qilmaydi. B_e batareya E emitter va B baza orasida o'tkazuvchi yo'nalishda (p - tip yarimo'tkazgich batareyaning musbat qutbiga) ulangan, uning ta'sirida teshiklar emitterdan



132- rasm.



133- rasm.

baza tomon siljiydi. So'ngra bu teshiklar baza va kollektor orasidagi berkituvchi qatlamdan oson o'tib (chunki n -tip yarimo'tkazgichdagi teshiklar uchun $n \rightarrow p$ o'tish o'tkazuvchan yo'nalish bo'ladi), kollektor zanjirida tok hosil qiladi. Shuni qayd etish kerakki, tranzistorning bazasi juda yupqa (taxminan 10^{-3} sm tartibida) bo'ladi. Bu esa deyarli barcha teshiklarning bazadagi elektronlar bilan rekombinatsiyalanishga ulgurmasdan kollektorga yetib borishini ta'minlaydi.

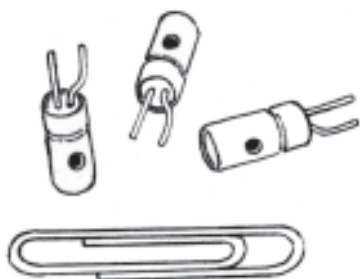
Shunday qilib, emitter bazaga teshiklarni injeksiyalaydi (purkaydi) (xuddi elektron lampaning katodi elektronlarni katod bilan anod orasidagi fazoga emissiyalagandek), kollektor esa bu teshiklarni bazadan so'rib oladi (xuddi elektron lampaning anodi elektronlarni so'rib olgani kabi). Emitter bilan bazaga berilgan U_t kuchlanish elektron lampadagi to'r kuchlanishi rolini o'ynaydi. Bu kuchlanish emitterdan bazaga teshiklar oqimini kuchaytirishi yoki kamaytirishi mumkin. B_e batareyaning kuchlanishi hamma vaqt U_t kuchlanishdan katta bo'ladi, shunda tranzistor zanjirida teshik toki hech uzilmaydi. Shuning uchun U_t kuchlanish tebranuvchan bo'lgan holda uning har qanday ΔU_t o'zgarishi kollektorga o'tib boruvchi teshiklar miqdorining o'zgarishiga olib keladi. Bu esa, o'z navbatida, kollektor zanjirida tokning mos o'zgarishiga va R qarshilikda U_a kuchlanishning ΔU_a o'zgarishiga sabab bo'ladi. $U_a \gg U_t$ bo'lgani uchun (chunki R qarshilik juda katta qilib olinadi) $\Delta U_a \gg \Delta U_t$ bo'ladi. Shunday qilib, emitter zanjirida kuchlanishning zaif tebranishlari kollektor zanjirining chiqish qarshiligida kuchlanishning tebranishlarini kuchaytiradi.

Yarimo'tkazgichli diodlar bilan triodlarning lampali diod va triodlarga qaraganda qator afzallik tomonlari bor. Ular mexanik jihatdan mustahkam, o'lchamlari juda kichik (bir sm va undan kichik), ularni qizitish (cho'g'lantirish) zarur emas, tuzilishi sodda, ishlash muddati ko'proq, to'g'rilash koeffitsiyenti katta va hokazo.

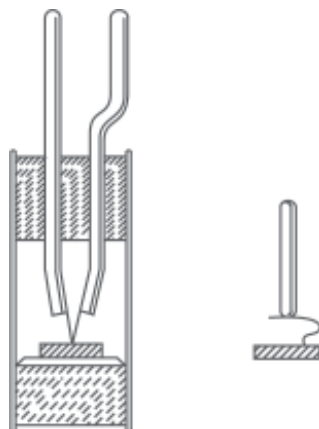
70- §. Tranzistorlarning turlari. Integral sxemalar haqida

Tranzistorlarning turli maqsadlar uchun mo'ljallangan turli ko'rinishlari mavjud. Masalan, nuqtaviy, yassi sirtli, maydonli tranzistorlar, yuqori chastotalarda ishlaydigan tranzistorlar va shu kabilar.

Nuqtaviy tranzistor kichkina germaniy plastinkadan iborat bo'lib, uning sirtiga bir tomondan bir-biriga yaqin qilib ikkita uchli elektrod prujina yordamida mahkam qisib qo'yiladi. Bu kontaktlar ularning elektr o'tkazuvchi oyoqchalari bilan birgalikda emitter



134- rasm.



135- rasm.

va kollektor vazifasini bajaradilar. Plastinkaning ikkinchi tomoniga yassi sirtli kontakt oʻrnatiladi va baza hisoblanadi. Baʼzi nuqtaviy tranzistorlarda ushbu elementlar silindrik gilza ichiga joylashtirilgan boʻladi. Bunday tranzistorlarning tashqi koʻrinishi 134- rasmda, koʻndalang kesimi 135- rasmda koʻrsatilgan.

Tranzistor yasaladigan germaniy plastinka tomonlari 1 mm dan boʻlgan kvadratchadan iborat. Emitter va kollektor uchun diametri 0,1 mm boʻlgan berilliyli va fosforli bronza simlar ishlatiladi. Silindrik gilza bazadan chiqariladigan kontakt rolini bajaradi.

Yassi sirtli tranzistorlarda emitter va kollektor kontaktlari mos ravishda $p \rightarrow n$ oʻtishlar bilan almashtiriladi. Bunday $p \rightarrow n$ oʻtishlar n - tipli germaniy monokristallini oʻstirish jarayonida uning ichki qismiga p - tip oʻtkazuvchanlikka ega yupqa (0,05 mm) qatlamni (tegishli element atomlarini kiritish yoʻli bilan) joylashtiriladi. Soʻngra monokristalldan kerakli plastinkalar qirqib olinadi, yaxshilab silliqilanadi, tozalanadi va shu usul bilan yassi sirtli tranzistor yasaladi. Ularning oʻlchamlari – uzunligi 3 mm, koʻndalang kesimi $\sim 1 \text{ mm}^2$ boʻlib, elementlarning sirtidan tokni toʻgʻrilash xossasiga ega boʻlmagan simlardan kontakt chiqariladi.

Tranzistorlar hozirgi zamon fan va texnikasining „Mikroelektronika“ deb ataladigan sohasida muhim rol oʻynaydi. Gap shundaki, informatsiyani qayta ishlash texnikasining, avtomatlashtirish va robotlashtirish sistemalarining, turli sinf EHM (elektron hisoblash mashinalari)ning amaliyotga kiritilishi jamiyatda yuz berayotgan ilmiy texnik taraqqiyotning xarakterli xususiyatlaridan boʻlib, bu sistemalar ishlab chiqarishda ham, hayotda ham insonlarning barcha

faoliyati sohalariga borgan sari kirib bormoqda. Bunday sistemalarning element asosi bo'lib mikroelektronikaning mahsuloti — integral sxemalar hisoblanadi.

Integral sxema maxsus ishlov berilgan yaxlit yarimo'tkazgich plastinka sirtida juda ko'p miqdordagi tranzistorlarni joylashtirib yasalgan („integrallangan“) asbobdir. Integral sxemalarni yaratishda mikroelektronikaning asosiy konstruktiv materiali qilib yarimo'tkazgich kremniyning monokristalli olinadi. Kremniy monokristalli maxsus usul yordamida o'stiriladi. Kristallning silindrsimon bo'lagining diametri 100 — 150 mm ga yetadi. Undan qalinligi 0,3 — 0,4 mm li plastinkalar qirqib olinadi, qirqish vaqtida sirtida hosil bo'lgan nuqsonli qatlam yediriladi va yaxshilab silliqilanadi. Kristall sirti o'ta toza va o'ta silliq bo'lgandan so'ng sirtning ayrim sohaları maxsus usul vositasida elektr aktiv kirishmalar bilan boyitiladi. So'ngra ishlov berilgan sohalar o'zaro o'tkazgichlar yordamida ulanadi. Zarur joylari kremniy oksidi (kvars) bilan izolat-siyalanadi.

Kremniy plastinka sirtida tranzistorlar 5 — 10 μm qalinlikdagi qatlamda yaratiladi, plastinkaning qolgan qismidan issiqlikni tashqariga uzatish maqsadida foydalaniladi.

Tranzistorlarning o'lchamlari juda kichik bo'lgani uchun bir vaqtning o'zida 10^8 — 10^{10} dona tranzistorga ishlov berish texnologiyasi ishlab chiqilgan. Agar plastinka sirtidagi tranzistorning yuzasi taxminan $100 \mu\text{m}^2$ bo'lsa, plastinkaning 1 sm^2 yuzasiga 1 mln. tranzistorni joylashtirish mumkin.

Hozirgi vaqtda integral sxemalardan juda keng foydalaniladi. Masalan, elektron hisoblash mashina (EHM)larini olaylik. XX asrning 50 — 60- yillarida EHMLar elektron lampalar asosida yaratilgan bo'lib, gabariti ham, vazni ham ancha katta edi. Lekin mikroelektronikaning taraqqiyoti tufayli shunday katta EHMLarning barcha funksiyalarini integral sxemalar asosida yaratilgan, shu bilan birga ixcham, yengil, yozuv stolining sirtidan ham kichikroq joy-ni egallaydigan shaxsiy kompyuterlar to'la va ortig'i bilan bajaradi.

Kosmanavtikada kosmik apparatlarni yaratishda asosiy muam-molardan biri ularning vaznini va gabaritini iloji boricha kamay-tirishdan iborat edi. Mikrosxemalar, integral sxemalar yaratil-gandan so'ng bu muammo ham ozmi-ko'pmi o'z yechimini topdi.

Zamonaviy televizorlar, radio, televideniye va aloqada ishlatiladigan barcha elektron asboblari, kalkulatorlar, soatlar, boshqaruv va nazorat qurilmalari va shu kabi ko'pgina elektron asboblarning asosini mikrosxemalar, integral sxemalar tashkil etadi.

XX asrning o'rtalaridan boshlab O'zbekiston Fanlar Akademiyasining fizika-texnika institutida yarimo'tkazgichlar fizikasi sohasida fundamental ilmiy tadqiqot olib borilgan. Asosiy maqsad — yarimo'tkazgich materiallarda kechadigan fizik jarayonlarni ilmiy jihatdan o'rganib, yuqori koeffitsiyentli fotoo'zgartkichlar, fotopriyomniklar, o'zgarmas va o'zgaruvchan magnit maydonga o'ta sezgir miniatur datchiklar, yuqori kuchlanishli selenli tok to'g'rilagichlar kabi xalq xo'jaligida, sanoatda va ilmiy tadqiqot ishlarida keng qo'llaniladigan asboblarning fizik texnologiyasini yaratishdan iborat bo'lgan. Bu ilmiy izlanishlarda o'zbek akademiklari E.I. Adirovich va M.S. Saidovlar yetakchilik qildilar va salmoqli hissa qo'shdilar. Hozirgi vaqtda M.S. Saidov va uning shogirdlari yarimo'tkazgichlar fizikasi bo'yicha ilmiy tadqiqot ishlarini keng ko'lamda olib bormoqdalar. Erishilgan natijalar hozirgi zamon fizik elektronikasi va mikroelektronikasi uchun yarimo'tkazgich materiallarini yaratish imkonini beradi. Shuningdek, yarimo'tkazgichli elektron asboblari va ularni ishlab chiqarishning texnologik muammolarini yechishda muhim ahamiyatga ega.

71- §.Termoqarshiliklar. Fotoqarshiliklar

65- § da aytilganidek, temperatura ko'tarilishi bilan hamma yarimo'tkazgichlarning elektr o'tkazuvchanligi keskin ortadi, qarshiligi esa kamayadi.

Yarimo'tkazgichlar qarshiligining temperatura o'zgarishiga juda sezgirligi ularni texnikaning turli sohalarida qo'llashga imkon beradi.

Yarimo'tkazgichlar qarshiligining temperaturaga kuchli bog'liq bo'lishiga asoslangan asboblari yarimo'tkazgichli termoqarshiliklar yoki termistorlar deb ataladi. Termistorlar silindrik sterjenlar, naychalar, to'rtburchakli ustunchalar, munchoqlar va ingichka iplar ko'rinishida tayyorlanadi. Mexanik ta'sirlardan ehtiyot qilish uchun ular shisha, chinni yoki metall (albat, metallardan izolatsiyalab) ballonchalar ichiga joylashtiriladi.

Termistorlar tuzilishi va qanday maqsadga mo'ljallanganiga qarab bir necha turga: 1) o'lchash termistorlari, 2) bevosita qizdiriladigan termistorlar va 3) bilvosita qizdiriladigan termistorlarga ajratiladi.

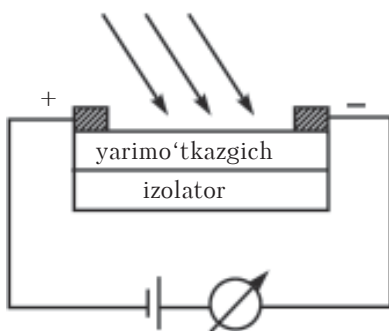
O'lchash termistorlari yordamida, asosan, temperatura o'lchanadi. Termistor yordamida temperaturaning gradusning millondan bir ulushlarigacha o'zgarishlarini aniqlash mumkin. Temperaturasi

rani o'lchashda ko'pincha „munchoq“ termistorlar ishlatiladi. O'lchamlari kichik bo'lgani uchun bunday termistorlar yordamida juda kichik obyektlar, masalan, meditsinada turli organ va to'qimalarning temperaturalarini o'lchash imkoni yaratildi, ular yordamida gaz va suyuqlik oqimlaridagi temperaturalarni o'lchashda, havoning namligini o'lchash va shunga o'xshash boshqa maqsadlarda ishlatiladi.

Bevosita qizdiriladigan termistorlarning qarshiligi Joule – Lens issiqligi hisobiga o'zgaradi. Bunday termistorlar yordamida quyidagi ishlar bajarilishi mumkin: 1. Kuchlanish u qadar tebranmaydigan va tok kichik bo'lgan hollarda kuchlanish stabilanadi. Termistorda kuchlanish ortsa, I tok ham ortadi, natijada termistor qiziydi, binobarin, uning qarshiligi kamayadi. Lekin termistordagi kuchlanish tushuvi $\Delta U = IR$ taxminan o'zgarmaydi. 2. Elektr zanjirlari qarshiliklarini o'zgartirmay saqlaydi. Bunda termistor qarshiligining temperatura koeffitsiyenti manfiy, metall o'tkazgich qarshiligining temperatura koeffitsiyenti musbat ekanligidan foydalaniladi. Ular zanjirda ketma-ket ulanganda qarshiliklarini shunday tanlab olish mumkinki, temperaturaning (tok yoki tashqi sabab tufayli) o'zgarishi ularning umumiy qarshiligiga deyarli ta'sir ko'rsatmaydi. 3. Jilgichli reostatlarining o'rnini bosadi. O'zidan tok o'tganda termistor qiziydi, natijada uning qarshiligi avtomatik ravishda kamayadi. 4. „Vaqt oralig'i“ni belgilaydi. Ko'pincha, zanjirdagi tokning asta-sekin o'sib borishi zarur bo'lib qoladi. Tok ta'sirida qizish va shu sababli qarshiligining ma'lum darajagacha tushishi tayinli bir vaqt (millisekunddan to bir necha minutgacha) davom etadigan termistorlar yasaladi.

Bilvosita qizdiriladigan va maxsus tuzilgan termistorlar ham texnikada keng qo'llaniladi. Masalan, mashinaning ba'zi qismlarining qizib ketganligi haqida, samolyot, kema yoki binoning turli joylarida temperatura belgilangan me'yordan ortib ketganligi va boshqa ko'p hodisalar haqida signal berish uchun qo'llaniladi.

65- § da aytib o'tilganidek, yarimo'tkazgichlarning xususiy o'tkazuvchanligi faqat isitilgandagina emas, balki yoritilganda ham keskin ortadi, ya'ni yarimo'tkazgichning qarshiligi yorug'lik ta'sirida o'zgaradi. Yarimo'tkazgichlar qarshiligining yoritilganlikka qarab o'zgarishiga asoslangan asboblarning qarshiliklari deb ataladi.



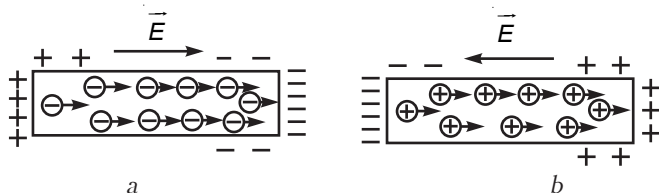
136- rasm.

Fotoqarshilikning elektr sxemasi 136- rasmda keltirilgan. Fotoqarshiliklarning volt-ampere xarakteristikalarini to'g'ri chiziqdan iborat bo'ladi. Fotoqarshiliklar avtomatika, texnik jarayonlarni olidan turib boshqarishda keng qo'llaniladi. Buyumlarni rangiga va o'lchamlariga qarab navlarga ajratishda ham fotoqarshiliklar ishlatiladi.

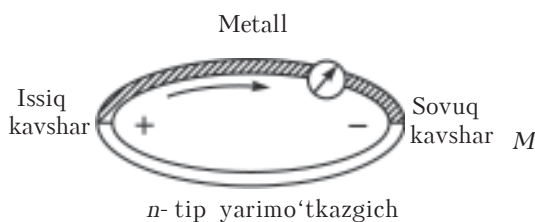
72- §. Yarimo'tkazgichli termoelementlar. Termoelektr tok generatorlari

63- § da yarimo'tkazgich termopara (yoki termoelement)larning termoelektr yurituvchi kuchi metall termoparalarning termoelektr yurituvchi kuchidan ancha katta ekanligini aytib o'tgan edik. Endi yarimo'tkazgichlarning asosiy xossalari bilan tanishib chiqqanimizdan so'ng bu farqni oson tushunish mumkin.

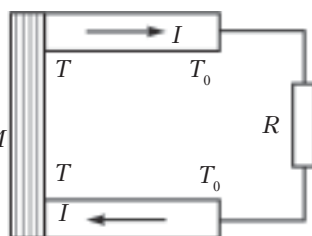
Agar n - tip yarimo'tkazgichdan qilingan sterjenning bir uchini qizitib, ikkinchi uchini sovutsak, issiq uchida erkin elektronlarning konsentratsiyasi ortadi. Buning ustiga bu elektronlarning kinetik energiyasi ham yuqori bo'ladi. Shuning uchun yarimo'tkazgichda erkin elektronlarning issiq uchdan sovuq uchga tomon ortiqcha ko'chishi boshlanadi (137- a rasm). Shunday ko'chish sababli sterjenning issiq uchi musbat zaryadlanadi (chunki elektronlarning bir qismini yo'qotadi), sovuq uchi esa manfiy zaryadlanadi (chunki bu uchga ortiqcha elektronlar ko'chib keladi). Natijada yarimo'tkazgich uchlari orasida potentsiallar farqi (TEYK) yuzaga keladi. Agar yarimo'tkazgich p - tip bo'lsa, teshiklarning sterjenning sovuq uchiga ortiqcha o'tishi tufayli uning issiq uchi manfiy zaryadlanadi, sovuq uchi esa musbat zaryadlanadi (137- b rasm). Zaryadlarning sterjenning ikki uchida ajralishi tufayli vujudga



137- rasm.



138- rasm.



139- rasm.

kelgan \vec{E} elektr maydoni elektronlarning (yoki teshiklarning) sterjenning sovuq uchiga ortiqcha o'tishiga to'sqinlik qila boshlaydi va berilgan yarimo'tkazgich uchun sterjen uchlari orasidagi potensiallar farqi ma'lum kattalikka yetganda muvozanat holat yuzaga keladi. Ana shu muvozanat holat hosil bo'lgan termoelektr yurituvchi kuchni belgilaydi. (Metall sterjenda bunday effekt bo'lmaydi, chunki metallarda erkin elektronlar konsentratsiyasi temperaturaga bog'liq emas.) Shuning uchun metall va n -tip yarimo'tkazgichdan tuzilgan termoparada issiq (musbat zaryadlangan) uchidan sovuq (manfiy zaryadlangan) uchiga yo'nalgan tok vujudga keladi (138- rasm).

Shuningdek, ikkita turli yarimo'tkazgich — n -tip va p -tip yarimo'tkazgich sterjendan termopara tuzish mumkin. Bu sterjenlarning har birida hosil bo'ladigan TEYKlar qo'shiladi, chunki, ta'kidlab o'tilganidek, elektron va teshikli yarimo'tkazgichlarning qizitiladigan uchlari turli ishorali zaryadlanadi. Shuning uchun yarimo'tkazgich termoparalarni 139- rasmda ko'rsatilganidek tuzish maqsadga muvofiqdir. Turli tipdagi ikkita yarimo'tkazgich M metall plastinka vositasida bir-biri bilan tutashtiriladi. Yarimo'tkazgichlarning tutashgan uchlari T temperaturagacha qizdiriladi, ikkinchi uchlari havo yoki suv bilan T_0 temperaturagacha sovutiladi. Shu uchlarga tashqi R zanjir ulanadi. Zanjir orqali I tok o'ta boshlaydi.

Yarimo'tkazgichli termoparalarning TEYK 100 gradus temperatura farqi uchun metall termoparalarnikiga qaraganda taxminan 100 marta katta bo'lib, 0,1 V ga yaqin bo'ladi. Shuning uchun bu yarimo'tkazgichli termoparalar faqat temperaturalarni o'lchash uchunгина emas, shuningdek, issiqlikni bevosita elektr energiyasiga aylantiradigan termoelektr tok generatori sifatida ishlatishga ham imkon beradi. Bu maqsadda ko'p sonli yarimo'tkazgich termoparalarni ketma-ket radial joylashtirib bir-



140- rasm.



b

biriga ulanadi (140- a rasm) va g'ildiraksimon termobatareya hosil qilinadi. Termobatareya ni kerosin lampa shishasiga kiydirilsa (140- b rasm), termobatareyaning (shishaga qaragan) ichki uchlari $300 - 350^{\circ}\text{C}$ gacha qiziydi, tashqi uchlari esa 60°C ga yaqin temperaturada bo'ladi. Bunday termoelektr tok generatori radiopriyomniklarni ta'minlash uchun yetarli elektr energiya bera oladi.



Takrorlash uchun savollar

1. Elektr xossalari jihatidan yarimo'tkazgichlarning metallardan farqi nima? 2. Ionlashish energiyasi qanday kattalik? Bu energiyani atomlarga qanday yo'llar bilan berish mumkin? 3. Yarimo'tkazgichlardagi xususiy o'tkazuvchanlik nima? Solishtirma elektr o'tkazuvchanlik nimalarga bog'liq? Formulasini yozing. 4. Yarimo'tkazgichlardagi aralashmali o'tkazuvchanlik qanday amalga oshiriladi? 5. Donor aralashma va akseptor aralashma deganda nima tushuniladi? 6. Yarimo'tkazgichli diodning ishlash prinsipi qanday? 7. Uning volt-amper xarakteristikasi qanday ko'rinishga ega? 8. Tranzistor qanday tuzilgan? Uni elektron lampa — triod bilan taqqoslab, ishlash prinsiplarini tushuntiring. 9. Integral sxemalar haqida nimalarni bilasiz? Ularning qo'llanish sohaslarini ayting. 10. Termova fotoqarshiliklar qanday maqsadlarda qo'llaniladi? 11. Yarimo'tkazgichli termoparalar qanday tuzilgan va qayerlarda ishlatiladi? 12. Termoelektr tok generatorlarining ishlashi qanday hodisaga asoslangan? Ularda elektr toki qanday hosil qilinadi?

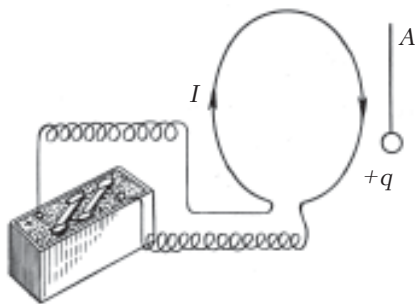
IV bob. MAGNIT MAYDON

73- §. Tokning magnit maydoni

Tinch holatda turgan elektr zaryadlari orasida hosil bo'luvchi o'zaro ta'sir har bir zaryad atrofida mavjud bo'lgan elektr maydon orqali uzatilib, Kulon qonuni bilan aniqlanar edi. Endi 1820- yilda daniyalik olim Ersted tomonidan o'tkazilgan elektr hodisalari bilan

magnit hodisalari orasidagi bog‘lanishni ko‘rsatuvchi tajribalar bilan tanishib chiqaylik.

1. Halqasimon o‘tkazgich olib, undan tok o‘tkazamiz va unga ipak ipga osilgan zaryadlangan A sinash sharchasini yaqinlashtiramiz (141- rasm). Sharchaga halqa tomonidan ta‘sir etuvchi hech qanday kuchni sezmaymiz. Demak, o‘tkazgichdan o‘zgarimas tok o‘tganda hosil bo‘luvchi elektr maydon butunlay o‘tkazgich ichiga joylashgan bo‘lar ekan.

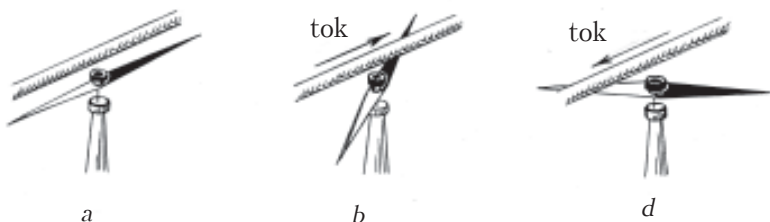


141- rasm.

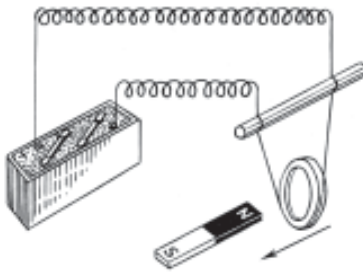
2. Magnit strelkasi olib, uning o‘qi bo‘ylab sim tortaylik (142- a rasm). Simdan tok o‘tganda magnit strelkasi o‘zining dastlabki vaziyatidan og‘adi (142- b rasm). Agar tokning yo‘nalishini o‘zgartirsak, magnit strelkasining og‘ish yo‘nalishi ham o‘zgaradi (142- d rasm). Tajribaga asosan, tokli o‘tkazgich atrofidagi fazoda magnit strelkasini harakatga keltiruvchi qandaydir kuchlar ta‘sir qiladi, degan xulosaga kelamiz.

3. Elastik simga izolatsiyalangan simdan qilingan g‘altakni osib, undan tok o‘tkazamiz va unga doimiy magnitni yaqinlashtiramiz (143- rasm). G‘altakdan o‘tayotgan tokning yo‘nalishiga qarab g‘altakning magnitga tortilishini yoki undan itarilishini ko‘ramiz. Tajriba magnit va tokli o‘tkazgich atrofidagi fazoda tokli o‘tkazgichni harakatga keltiruvchi qandaydir kuchlar ta‘sir qilishini ko‘rsatadi.

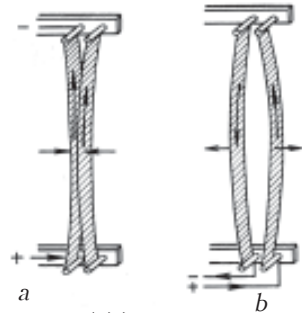
4. Ikkita elastik to‘g‘ri simni (tasma shaklidagi) bir-biriga parallel qilib vertikal ravishda o‘rnatamiz. Shu simlardan tok o‘tkazsak, ular bir-biriga ta‘sir qiladi. Agar toklar qarama-qarshi yo‘nalishlarda bo‘lsa, o‘tkazgichlar itarishadi (144- b rasm). Agar toklar bir



142- rasm.



143- rasm.



144- rasm.

yo'nalishda bo'lsa, ular o'zaro tortishadi (144- a rasm). Demak, bu tajribalarga asoslanib, tokli o'tkazgichlar atrofidagi fazoda tokli o'tkazgichlarni harakatga keltiruvchi qandaydir kuchlar ta'sir qiladi, degan xulosaga kelamiz.

Bu tajribalarning hammasi toklar o'zaro ta'sirlashganda, magnit tokka yoki tok magnitga ta'sir qilganda namoyon bo'ladigan kuchlarning tabiati bir xil degan xulosaga olib keladi. Bu kuchlar magnit kuchlari deyiladi.

Tinch turgan elektr zaryadlari atrofidagi fazoda elektr maydon hosil bo'lgani kabi, toklar atrofidagi fazoda tokli o'tkazgichga ta'sir etuvchi, materiyaning maxsus ko'rinishi bo'lgan magnit maydon hosil bo'ladi. Mana shu magnit maydon magnit kuchlarining manbayidir.

Bu o'tkazilgan tajribalardan ko'rinadiki, elektr toki, ya'ni harakatlanayotgan elektr zaryadlari mavjud bo'lgan hamma yerda magnit maydon ham bo'ladi. Demak, *elektr toki bilan magnit maydonni bir-biridan ajratib bo'lmaydi.* Magnit maydonni tok (harakatlanayotgan zaryad) hosil qiladi; magnit maydonning mavjud ekanligi uning tokka (harakatlanayotgan zaryadga) ta'siri orqali aniqlanadi. Bu magnit maydonning asosiy xususiyatlaridan biri hisoblanadi. Magnit maydon o'tkazgichda tok hosil bo'lgandagina vujudga kelganidan, tokni, ko'pincha, magnit maydonning manbai deb qaraladi.

Magnit maydon modda emas, balki alohida zarralardan mujassamlangan moddadan tamomila farqli ravishda, materiyaning fazoda uzluksiz mavjud bo'lgan turidir.

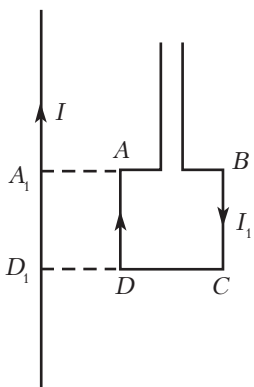
Tokli o'tkazgichlarning magnit maydoni cheksizlikkacha yoyiladi, biroq masofa ortishi bilan magnit kuchlari juda tez zaiflashadi. Shu sababli amalda magnit kuchlarining ta'sirini tokli o'tkazgichga yaqin masofalardagina sezish mumkin.

74- §. Magnit maydon induksiya vektori

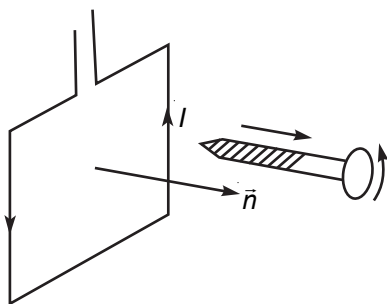
Elektrostatikada biz elektrostatik maydonning xossalarini nuqtaviy zaryad, ya'ni o'lchamlari shu maydonni hosil qilayotgan zaryadlarga bo'lgan masofalarga nisbatan kichik bo'lgan jismlarda to'plangan zaryad yordamida o'rgandik (3- § ga q.). Magnit maydonning xossalarini esa shu maydonning tokli berk yassi konturga — ramkaga ko'rsatadigan ta'siriga qarab o'rganamiz. Bu konturning o'lchamlari magnit maydonni vujudga keltirayotgan tok oqayotgan o'tkazgichlarga bo'lgan masofaga nisbatan kichik bo'lishi kerak. Magnit maydonni tekshirish uchun buralish deformatsiyasini seza oladigan, ingichka elastik simga osib qo'yilgan ramkadan foydalanamiz.

Tajriba tokli ramka tokli o'tkazgich yaqiniga joylashtirilganda tokli o'tkazgich hosil qilgan magnit maydon ramkaga ta'sir ko'rsatishi natijasida uning ma'lum burchakka burilishini ko'rsatadi. Masalan, uzun to'g'ri sim orqali I tok oqayotgan bo'lsin (145- rasm). Bunday sim yaqiniga keltirilgan $ABCD$ ramka burilib, sim orqali o'tuvchi A_1ABCDD_1 tekislik bo'ylab joylashib oladi. Bunda ramkaning joylashishi undagi tokning yo'nalishiga bog'liq bo'ladi: ramkadagi I_1 tokning yo'nalishi o'zgarganda ramka 180° ga buriladi.

Ramkaning magnit maydonda muayyan tarzda burilish hodisasi magnit maydonning o'zi ham yo'nalishga ega ekanligini bildiradi. Demak, magnit maydonni xarakterlaydigan kattalik vektor bo'lishi va bu vektorning yo'nalishi ramka yoki magnit strelkasi oladigan yo'nalishga bog'liq bo'lishi kerak. Magnit maydonni xarakterlaydigan bu vektor kattalik **m a g n i t m a y d o n i n d u k s i y a v e k t o r i** deb ataladi. Magnit induksiya vektorining ramka



145- rasm.



146- rasm.

turgan joydagi yoʻnalishi uchun ramka tekisligiga oʻtkazilgan normalning musbat yoʻnalishi qabul qilingan. [Normalning uchidan qaralganda ramkadagi tok soat mili harakatiga teskari yoʻnalgan holda koʻrinsa (146- rasm), bu yoʻnalish normalning musbat yoʻnalishi deb qabul qilinadi.] Boshqacha aytganda, normalning musbat yoʻnalishi uchun dastasining harakat yoʻnalishi ramkadan oqayotgan tokning yoʻnalishi bilan bir xil boʻlgan parma (oʻng vint)ning ilgari lanma harakat yoʻnalishi qabul qilingan.

Maydon taʼsirida ramkaning burilishi magnit maydonda ramkaga juft kuch taʼsir qilishini koʻrsatadi. Tajriba bu juft kuch momentining kattaligi magnit maydonni vujudga keltirayotgan toklarga va ramkaning oʻlchamlari, joylashishi va undan oʻtayotgan tok kuchiga bogʻliq ekanligini koʻrsatadi. Maʼlum kattalikdagi tok oʻtayotgan ramkaga oʻtkazilgan normal magnit maydon boʻylab yoʻnalganda ramkaga taʼsir qiladigan juft kuch momenti nolga teng boʻladi. Ramkaga oʻtkazilgan normal magnit maydonga perpendikular yoʻnalganda esa juft kuch momenti maksimal qiymatiga erishadi. Tajribada juft kuchlar momentining maksimal qiymati M_{\max} ramkadagi I tok kuchiga hamda ramkaning S yuziga proporsional ekanligiga ishonch hosil qilish oson, yaʼni

$$M_{\max} \propto I \cdot S. \quad (123)$$

Tajriba yoʻli bilan topilgan bu asosiy faktdan magnit maydonni miqdor jihatdan xarakterlash uchun foydalanish mumkin. Haqiqatan ham,

$$B = \frac{M_{\max}}{I \cdot S} \quad (124)$$

nisbat ramkaning xossalari bogʻliq boʻlmay, fazoning aniq bir nuqtasidagi magnit maydonni xarakterlaydi. Bu kattalik magnit maydon induksiya vektori deb ataladi va \vec{B} harfi bilan belgilanadi.

$$P_t = I \cdot S \quad (125)$$

kattalik tokli ramkaning magnit momenti deb ataladi. SI da uning birligi

$$[P_t] = [I] \cdot [S] = 1 \text{A} \cdot \text{m}^2.$$

Magnit maydon induksiya vektori magnit maydonni toʻliq tavsiflaydi, chunki fazoning har bir nuqtasi uchun bu vektorning

son qiymati va yoʻnalishini topish mumkin. SI da *magnit maydon induksiya birligi qilib shunday magnit maydonning induksiya qabul qilinadiki, bu maydonda yuzi 1 m² boʻlgan ramkadan 1 A tok oʻtganda maydon ramkaga 1N·m moment bilan taʼsir koʻrsatadi.* Magnit maydon induksiya birligi yugoslaviyalik fizik Tesla sharafiga tesla (T) deb ataladi. Shunday qilib,

$$1T = \frac{1N \cdot m}{1A \cdot 1m^2} = 1 \frac{N}{A \cdot m}.$$

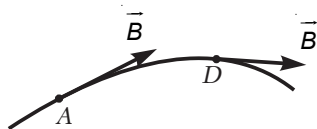
Elektr maydonning kuch xarakteristikasi boʻlib maydon kuchlanganligi vektori (\vec{E}) hisoblansa, magnit maydonning kuch xarakteristikasi boʻlib magnit induksiya vektori (\vec{B}) hisoblanadi.

75- §. Magnit maydon induksiya chiziqlari

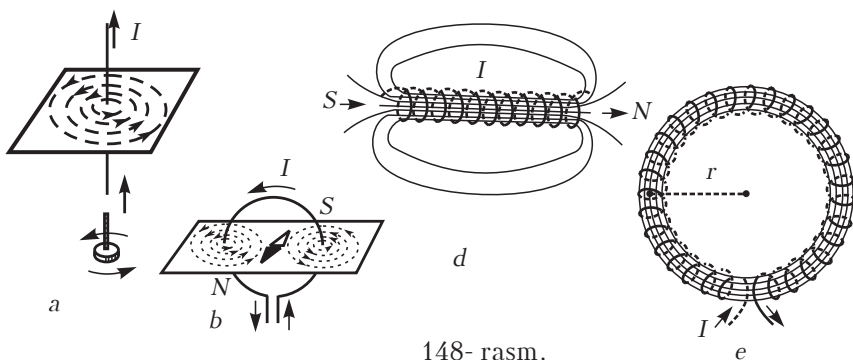
Elektrostatikada elektrostatik maydon kuchlanganlik chiziqlari orqali tasvirlangani kabi, magnit maydonni ham magnit maydon induksiya chiziqlari orqali tasvirlash mumkin. *Magnit maydon induksiya chiziqlari deb shunday chiziqchilarga aytiladiki, ularga oʻtkazilgan urinmalar maydonning har bir nuqtasida \vec{B} vektor bilan bir xil yoʻnalgan boʻladi* (147- rasm).

Parma qoidasidan foydalanib, turli xususiy hollar uchun magnit maydon kuch chiziqlarining manzarasini aniqlashimiz mumkin. Bu manzarani tajribada temir kukunlari vositasida kuzatish maqsadga muvofiqdir. Misol tariqasida tokli toʻgʻri oʻtkazgichning magnit maydoni uchun magnit induksiya chiziqlarini yasaymiz; *agar parmaning ilgari harakatini tok bilan bir xil yoʻnaltirsak, u holda parma dastasining aylanish yoʻnalishi magnit induksiya chiziqlarining yoʻnalishini koʻrsatadi* (148- a rasm). Toʻgʻri tok magnit maydonining kuch chiziqlari markazlari oʻtkazgich oʻqida joylashgan konsentrik aylanalardan iborat boʻlib, bu aylanalarda oʻtkazgich oʻqiga tik tekislikda yotadi. Aylanalarga oʻtkazilgan strelkali chiziqlar mazkur kuch chiziqlariga urinma boʻlgan \vec{B} induksiya vektorining yoʻnalishini koʻrsatadi.

Elektr maydon kuchlanganlik chiziqlari kabi, magnit induksiya chiziqlari shunday oʻtkaziladiki, ularning zichligi magnit maydon induksiya vektorining shu joydagi qiymatini xarakterlaydi.



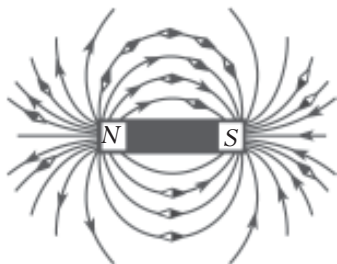
147- rasm.



148- rasm.

Yuqorida ko'rsatilgan usul bilan aylana tok (148- *b* rasm), solenoid (tokli g'altak) (148- *d* rasm) va toroid (markazlari aylana bo'ylab joylashgan bir xil aylana toklar sistemasi, 148- *e* rasm), magnit induksiya chiziqlarining manzarasini aniqlash mumkin. Solenoidning ichki qismida magnit maydonni bir jinsli deyish mumkin. Toroidning magnit maydoni faqat uning ichki qismida mujassamlangan bo'ladi.

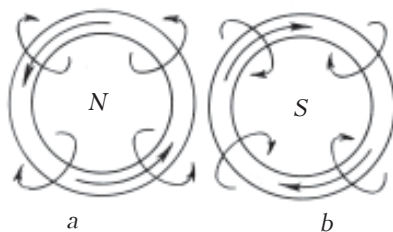
Solenoidning magnit maydoni (solenoid tashqarisidagi maydon) bilan doimiy magnit maydon orasida o'xshashlik bor (149- rasm). Shartli ravishda, kuch chiziqlari g'altakning bir uchidan chiqib, ikkinchi uchiga kiradi, deb hisoblash mumkin. Doimiy magnitning kuch chiziqlari chiqadigan uchi magnitning *shimoliy qutbi* (bu qutb *N* harfi bilan belgilanadi), kuch chiziqlari kiradigan ikkinchi uchi esa *janubiy qutbi* (bu qutb *S* harfi bilan belgilanadi) deb ataladi. Tokli har qanday g'altakning ham ikkita magnit qutbi bo'ladi (148- *d* rasmga q.). G'altak o'ramlaridagi tokning yo'nalishi ma'lum bo'lsa, magnit qutblarini parma qoidasi asosida aniqlash mumkin. G'altakning bir uchidan qaralganda g'altak o'ramlaridagi tok soat mili harakatiga teskari yo'nalishda oqadigan



149- rasm.

bo'lib ko'rinsa, g'altakning bu uchi shimoliy qutb bo'ladi (150- *a* rasm). G'altakning ikkinchi uchi janubiy qutb bo'lib, uning bu uchidan qaralganda tok g'altak o'ramlaridan soat mili harakati yo'nalishida oqadi (150- *b* rasm). G'altakning qutblarini o'zgartirish uchun undagi tokning yo'nalishini o'zgartirish kifoya. Ayni bir aylana tok ikki

qarama-qarshi tomondan (bir tomondan qaraganda soat mili harakati bo'yicha, ikkinchi tomondan unga qarama-qarshi yo'nalishda) ta'sir etadi. Bu magnit qutblari faqat juft holda mavjud bo'lishini va biror usul bilan bitta qutb hosil qilish mumkin emasligini bildiradi.



150- rasm.

Agar ikki g'altak bir-biriga turli ismli qutblari bilan qaratib qo'yilgan bo'lsa, u vaqtda ular bo'ylab tok bir yo'nalishda oqadi va g'altaklar bir-biriga tortiladi. Agar ular bir-biriga bir xil ismli qutblari bilan qaratib qo'yilgan bo'lsa, u holda ular bo'ylab tok qarama-qarshi yo'nalishda oqadi va g'altaklar bir-biridan itariladi. G'altaklardagi singari doimiy magnitlarning ham bir ismli qutblari bir-birlaridan itariladi, turli ismli qutblari esa bir-biriga tortiladi.

Magnit induksiya chiziqlarining muhim xususiyati shundan iboratki, ularning boshlanishi ham, oxiri ham bo'lmaydi. Ular hamisha berk bo'ladi. Elektrostatik maydonning kuch chiziqlari esa ochiq, ya'ni musbat zaryadlardan boshlanib, manfiy zaryadlarda tugaydi. Magnit induksiya kuch chiziqlarining berk bo'lishi shuni ko'rsatadiki, tabiatda elektr zaryadlari kabi magnit zaryadlari bo'lmaydi. Bunday maydon u y u r m a v i y m a y d o n deyiladi. Demak, magnit maydon uyurmaviy maydondir.

76- §. Bio – Savar – Laplas qonuni. To'g'ri tok, aylanma tok, solenoid va toroidning magnit maydon induksiyasi

1920- yilda fransuz fiziklari J. Bio va F. Savar cheksiz uzun to'g'ri tokli o'tkazgichlarning atrofidagi magnit maydonlarni tajribada o'rgandilar. Tajriba natijalariga asoslanib, *barcha hollarda magnit maydon induksiyasi shu maydonni hosil qiluvchi I tok kuchiga to'g'ri proporsional va tokli o'tkazgichdan magnit induksiyasi aniqlanayotgan nuqttagacha bo'lgan r masofaga teskari proporsional* ekanligini aniqladilar. Keyinchalik fransuz fizigi P. Laplas Bio va Savar tajribalaridan olingan ma'lumotlarni tahlil qilib va umumlashtirib, ixtiyoriy shakldagi tokli o'tkazgich atrofidagi magnit maydon induksiyasini aniqlash imkonini beradigan qonunni topdi. Bunda u maydonlar superpozitsiyasi prinsipidan foydalandi.

Bu prinsipga asosan, *bir necha toklar vujudga keltirayotgan maydonning ixtiyoriy nuqtadagi magnit induksiyasi alohida toklar vujudga keltirayotgan maydonlarning ayni shu nuqtadagi magnit induksiyalarining vektor yig'indisiga teng bo'ladi*, ya'ni:

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3 + \dots + \vec{B}_n = \sum_{i=1}^n \vec{B}_i, \quad (126)$$

bunda: \vec{B} – natijaviy maydon induksiyasi, $\vec{B}_1, \vec{B}_2, \vec{B}_3, \dots, \vec{B}_i$ lar alohida toklarning magnit maydon induksiyasi.

Ixtiyoriy shakldagi tokli o'tkazgichni dl uzunlikdagi elementar bo'lakchalarga fikran ajrataylik. Laplas I tok oqayotgan o'tkazgichning har bir dl elementi ixtiyoriy olingan A nuqtada (151-rasm) hosil qilgan magnit maydonning induksiyasi uchun vektor

ko'rinishda $d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I[d\vec{l} \cdot \vec{r}]}{r^3}$ yoki skalar ko'rinishda

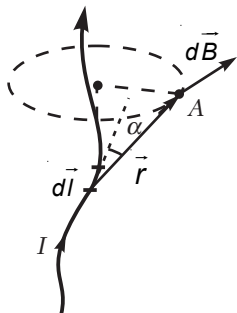
$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I \cdot dl \cdot \sin\alpha}{r^2} \quad (127)$$

formulani aniqladi, bu yerda: \vec{r} – tok elementi dl dan A nuqtaga yo'nalgan vektor, r – shu vektorning moduli, α – A nuqtaga o'tkazilgan \vec{r} radius-vektor bilan $d\vec{l}$ element orasidagi burchak, μ_0 – magnit doimiysi yoki vakuumning absolut magnit singdiruvchanligi deb ataladigan kattalik bo'lib, uning son qiymati

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{T} \cdot \text{m}}{\text{A}}$$

ga teng.

(127) munosabat Bio – Savar – Laplas qonuni deb yuritiladi. $d\vec{B}$ vektor $d\vec{l}$ element bilan \vec{r} radius-vektorlardan o'tuvchi tekislikka perpendikular yo'nalgan. $d\vec{B}$ ning yo'nalishi o'ng vint qoidasiga asosan topiladi: *agar vintning ilgari lanma harakati tokli o'tkazgichning dl elementida oqayotgan I tok yo'nalishi bilan birday bo'lsa, vint dastasining aylanish yo'nalishi $d\vec{B}$ ning yo'nalishini ko'rsatadi.*



151- rasm.

Aytilganlarga ko'ra, (127) Bio – Savar – Laplas formulasi berilgan tokning A nuqtadagi to'la \vec{B} magnit induksiyasini emas, balki magnit induksiyasining tokli o'tkazgichning dl elementi hosil qilgan qismini ifodalaydi. To'la \vec{B} magnit induksiyasi tokli o'tkazgichning fikran ajratilgan dl elementlarining barchasi hosil qilgan $d\vec{B}$ magnit induksiyalarning vektor yig'indisidan iborat bo'ladi. Har xil shakldagi tokli o'tkazgichlar uchun (127) formulaga asosan hisoblab topilgan natijalarning tajribadan olingan ma'lumotlarga mos kelishi bu formulaning to'g'riligidan dalolat beradi.

Bio – Savar – Laplas qonunidan foydalanib, turli shakldagi, jumladan, cheksiz uzun to'g'ri tok, aylanma tok, tokli solenoid va taroidlarning hosil qilgan magnit maydon induksiyasini hisoblab topish formulalarini keltiramiz. Bunda barcha tokli o'tkazgichlar vakuumda joylashgan deb hisoblaymiz.

1. Cheksiz uzun to'g'ri tok vujudga keltirgan magnit maydon induksiya vektori:

$$B = \mu_0 \frac{I}{2\pi b}, \quad (128)$$

bunda: I – tok kuchi, b – tokli o'tkazgichdan magnit induksiya-si hisoblanayotgan A nuqttagacha bo'lgan masofa (152- rasm).

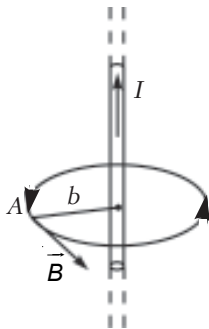
2. Aylanma tok markazidagi magnit maydon induksiya vektori

$$B = \mu_0 \frac{I}{2R}, \quad (129)$$

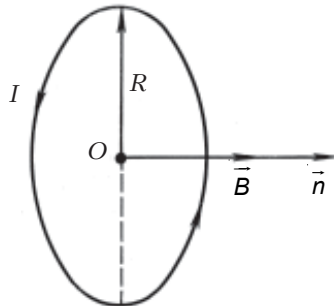
bunda: R – aylananing radiusi (153- rasm), I – tok kuchi.

3. Solenoid ichidagi magnit maydonning induksiya vektori

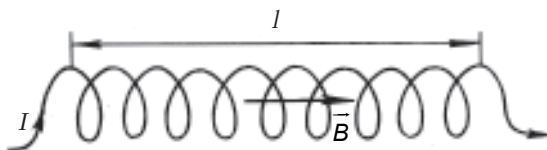
$$B = \mu_0 \cdot I \cdot n = \mu_0 \frac{I \cdot N}{l}, \quad (130)$$



152- rasm.



153- rasm.



154- rasm.

bunda: I – solenoiddan o‘tayotgan tok kuchi, $n = \frac{N}{l}$ – solenoidning birlik uzunligiga to‘g‘ri keluvchi o‘ramlar soni, l – solenoidning uzunligi, N – barcha o‘ramlar soni (154- rasm).

4. Toroidning magnit maydon induksiya vektori

$$B = \mu_0 \cdot I \cdot n = \mu_0 \frac{I \cdot N}{2\pi r}, \quad (131)$$

bunda: I – toroiddan o‘tayotgan tok kuchi, N – barcha o‘ramlar soni, r – toroidal halqaning radiusi (148- e rasmga q.). Toroidning ichida magnit maydon bir jinsli emas, chunki toroidning turli kesimlarida magnit maydon induksiya vektorining yo‘nalishi turlichadir. Shuning uchun butun toroid maydonining bir jinsliliigi haqida gapirilganda magnit maydon induksiya vektorining moduli nazarda tutiladi.

77- §. Magnit induksiya oqimi

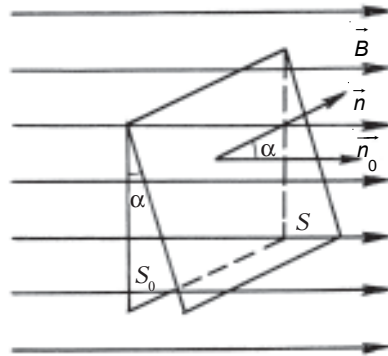
Bir jinsli maydonda magnit kuch chiziqlari o‘zaro parallel bo‘ladi va magnit maydon induksiya vektori kattalik va yo‘nalish jihatidan maydonning hamma nuqtalarida bir xil bo‘ladi. Magnit kuch chiziqlari yordamida magnit induksiya vektorining kattaligini ham aniqlash mumkin. Buning uchun magnit induksiya oqimi deb ataladigan yangi fizik kattalik kiritiladi. *Induksiya chiziqlariga perpendikular joylashgan ixtiyoriy S_0 yuz orqali o‘tayotgan \vec{B} magnit induksiya chiziqlarining soni bilan o‘lchanadigan kattalik magnit induksiya oqimi* deb ataladi (155- rasm) va Φ harfi bilan belgilanadi. Demak, ta’rifga binoan:

$$\Phi = BS_0. \quad (132)$$

Agar induksiya chiziqlari S sirtga perpendikular bo‘lmasa, u holda shakldan $S_0 = S \cos \alpha$ ga teng bo‘lib, S sirtidan o‘tayotgan magnit induksiya oqimi

$$\Phi = BS \cos \alpha \quad (133)$$

ga teng bo'ladi, bunda α — induksiya vektor chizig'i bilan S sirtga o'tkazilgan normal orasidagi burchak. Magnit induksiya oqimi skalar kattalik bo'lib, hosil qilingan burchakning qiymatiga bog'liq holda musbat va manfiy qiymatlar oladi. (133) formula faqat bir jinsli magnit maydon induksiya oqimini hisoblashda ishlatiladi. Bir jinsli bo'lmagan maydonda sirtning turli nuqtalarida induksiya vektorining kattaligi turlicha bo'ladi va bu holda (133) formulani tatbiq etib bo'lmaydi.



155- rasm.

SI da magnit induksiya oqimi birligi qilib magnit induksiya vektori bir tesla bo'lgan bir jinsli magnit maydonda induksiya vektor chiziqlariga perpendikular joylashgan 1m^2 yuzdan o'tadigan magnit induksiya oqimi qabul qilingan. Bu birlik nemis fizigi Veber sharafiga veber (Wb) deb ataladi. Shunday qilib, (132) formulaga binoan:

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

Magnit induksiya vektorini $B = \frac{\Phi}{S}$ formula bilan ifodalab, induksiya birligining boshqa ko'rinishini aniqlash mumkin:

$$1\text{T} = \frac{1\text{Wb}}{1\text{m}^2} = 1 \frac{\text{Wb}}{\text{m}^2}.$$

Agar magnit induksiya chiziqlariga nisbatan perpendikular joylashgan 1m^2 yuzdan o'tayotgan magnit oqimi 1 veber bo'lsa, u holda magnit induksiya vektori 1 teslaga teng bo'ladi.



Takrorlash uchun savollar

1. O'tkazgichdan o'tayotgan tokning magnit strelkasini og'dirishidan qanday xulosa chiqarish mumkin? 2. Parallel toklar o'zaro qanday ta'sirlashadi? 3. Magnit maydon deb nimaga aytiladi va u qanday xossalarga ega? 4. Magnit induksiya vektori qanday kattalik? Qanday birliklarda o'lchanadi? 5. Magnit maydon induksiya chiziqlari deb nimaga aytiladi va uning yo'nalishi qanday qoidaga ko'ra aniqlanadi? 6. Bio — Savar — Laplas qonunini ta'riflang. Formulasini yozing. 7. Superpozitsiya prinsipi magnit maydoni uchun qanday yoziladi? 8. To'g'ri tok, aylanma tok, tokli

solenoid va toroidlarning magnit maydon induksiya vektori formulalarini yozing va tushuntiring. 9. Magnit induksiya oqimi qanday fizik kattalik? Birligini ayting.



MASALA YECHISH NAMUNALARI

1- masala. Induksiya vektori 3 T bo'lgan va janubdan shimolga tomon yo'nalgan magnit maydon bilan induksiya vektori 4T bo'lgan va g'arbdan sharqqa tomon yo'nalgan magnit maydon fazoning biror sohasida qo'shiladi. Natijaviy magnit maydon induksiyasining kattaligi va yo'nalishi aniqlansin.

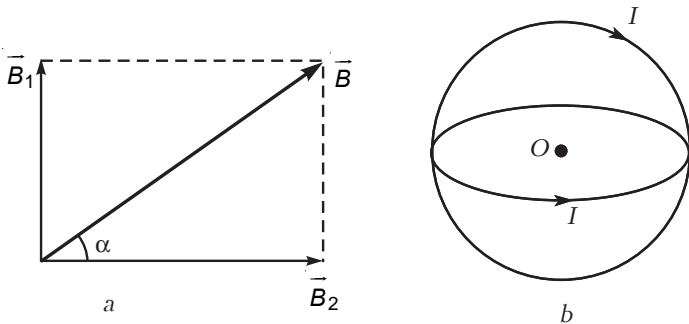
Berilgan: $B_1 = 3\text{T}; B_2 = 4\text{T}.$
 $B - ? \alpha - ?$

Yechilishi. Magnit induksiyasi vektor kattalikdir. Shuning uchun avval chizma chizamiz va parallelogramm qoidasiga asosan magnit induksiya vektorlarini qo'shib, natijaviy vektorni topamiz (156- a rasm). Shakldan

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 \text{ yoki } B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2}, \quad \sin \alpha = \frac{B_1}{B} = \frac{B_1}{\sqrt{B_1^2 + B_2^2}}.$$

Hisoblash: $B = \sqrt{9+16}\text{T} = 5\text{T}; \sin \alpha = \frac{3\text{T}}{5\text{T}} = 0,6; \alpha = 36^\circ 51'.$

2- masala. Vakuumda uzunligi 20 sm, diametri 5 sm va o'qidagi magnit induksiya vektori $1,26 \cdot 10^{-3} \text{ T}$ ga teng bo'lgan maydon hosil qiladigan solenoid tayyorlash uchun solenoid o'ramlarining uchlariga qanday potentsiallar farqi berish kerak? Solenoid o'ramlariga 0,5 mm diametrli mis sim ishlatiladi.



156- rasm.

Berilgan: $l = 20 \text{ sm} = 0,2 \text{ m}$; $D_1 = 5 \text{ sm} = 5 \cdot 10^{-2} \text{ m}$;

$D_2 = 0,5 \text{ mm} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ m}$; $B = 1,26 \cdot 10^{-3} \text{ T}$;

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{T} \cdot \text{m}}{\text{A}}$; $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$.

$U = ?$

Yechilishi. Solenoid o'ramlarining uchlaridagi potentsiallar farqi, Om qonuniga muvofiq, quyidagiga teng:

$$U = I \cdot R,$$

bunda: I – tok kuchi, R – solenoid o'ramlarining qarshiligi. Bu qarshilik quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$R = \rho \frac{l_1}{S},$$

bunda: $l_1 = \pi D_1 N$ – mis simning uzunligi, $S = \frac{\pi D_2^2}{4}$, N – solenoiddagi barcha o'ramlar soni, uni solenoid uzunligini mis simning diametriga

bo'lib topamiz: $N = \frac{l}{D_2}$. Demak,

$$R = \rho \frac{\pi D_1 N}{\pi D_2^2} \cdot 4 = 4\rho \frac{D_1 N}{D_2^2}.$$

Solenoiddagi tok kuchini $B = \mu_0 n I$ formuladan topamiz, bunda $n = \frac{N}{l}$ – solenoidning uzunlik birligiga to'g'ri keladigan o'ramlar soni,

N ning o'rniga $\frac{l}{D_2}$ qiymatni keltirib qo'ysak, $n = \frac{1}{D_2}$ va

$$I = \frac{B}{\mu_0 n} = \frac{B D_2}{\mu_0}$$

ifodani hosil qilamiz. Shunday qilib, solenoid o'ramlari uchlaridagi

potentsiallar farqi $U = I \cdot R = \frac{4\rho l D_1 B}{\mu_0 D_2^2}$ ga teng bo'ladi.

Hisoblash:

$$U = \frac{4 \cdot 1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m} \cdot 0,2 \text{ m} \cdot 5 \cdot 10^{-2} \text{ m} \cdot 1,26 \cdot 10^{-3} \text{ T}}{4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \frac{\text{T} \cdot \text{m}}{\text{A}} \cdot 25 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2} = 2,7 \text{ V}.$$

3-masala. Amper o'ramlar soni 1500 ga teng bo'lgan 20,9 sm uzunlikdagi toroid hosil qilgan magnit maydon induksiya vektorini toping.

$$\text{Berilgan: } IN = 1500A; l = 20,9 \text{ sm} = 0,209 \text{ m}; \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{T} \cdot \text{m}}{\text{A}}.$$

$B - ?$

Yechilishi. Toroid hosil qilgan magnit maydonning induksiya vektori $B = \mu_0 In = \mu_0 \frac{IN}{2\pi r}$ formuladan aniqlanadi, bunda I – toroiddan o'tayotgan tok kuchi, N – barcha o'ramlar soni, r – toroidning radiusi, $l = 2\pi r$ dan $r = \frac{l}{2\pi}$ ga ega bo'lamiz, u holda

$$B = \mu_0 \frac{IN}{2\pi l} \cdot 2\pi = \mu_0 \frac{IN}{l}$$

bo'ladi.

$$\text{Hisoblash: } B = \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \frac{\text{T} \cdot \text{m}}{\text{A}} \cdot 1500A}{0,209 \text{ m}} = 9 \cdot 10^{-3} \text{ T}.$$

4-masala. O'ramining ko'ndalang kesim yuzi 200 sm², uzunligi 40 sm bo'lgan g'altakda 4000 ta o'ram bor. Agar g'altakdagi tokning kuchi 0,5 A bo'lsa, magnit oqimi qanday bo'ladi?

$$\text{Berilgan: } S = 200 \text{ sm}^2 = 2 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2; l = 40 \text{ sm} = 0,4 \text{ m};$$

$$N = 4000; I = 0,5A.$$

$\Phi - ?$

Yechilishi. Magnit induksiya oqimi formulasini yozamiz: $\Phi = BS \cos \alpha$. Magnit induksiya chiziqlari o'ram tekisligiga perpendikular bo'lgani uchun $\alpha = 0^\circ$, $\cos 0^\circ = 1$. Tokli g'altakning magnit induksiya vektorining kattaligi $B = \mu_0 \frac{IN}{l}$ formula bilan aniqlanadi. Magnit induksiyaning bu qiymatini magnit oqimi formulasiga keltirib qo'yamiz:

$$\Phi = \mu_0 \frac{INS}{l}$$

$$\text{Hisoblash: } \Phi = 4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \frac{\text{N}}{\text{A}^2} \frac{0,5A \cdot 4000 \cdot 2 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2}{0,4 \text{ m}} = 1,26 \cdot 10^{-5} \text{ Wb}.$$



MUSTAQIL YECHISH UCHUN MASALALAR

87. Cheksiz uzun to'g'ri simdan 5 A tok o'tmoqda. Shu simdan 2,5 sm masofada magnit maydon induksiya vektori nimaga teng?

88. Radiusi 5 sm bo'lgan doiraviy sim o'ramidan 2 A tok o'tmoqda. Shu o'ram markazidagi magnit maydon induksiya vektori topilsin.

89. Vodorod atomida elektron $0,53 \cdot 10^{-8}$ sm radiusli doiraviy orbita bo'yicha harakatlanadi deb qabul qilib, orbita markazidagi magnit maydon induksiya kattaligini aniqlang. Harakatlanayotgan elektronga ekvivalent bo'lgan aylanma tok kuchini 0,01 mA ga teng deb hisoblang.

90. O'zaro parallel ikkita sim orasidagi masofa 20 sm. Ularning biridan 5 A, ikkinchisidan 2,5 A tok o'tmoqda. Ikki sim orasidagi masofaning o'rtasiga joylashgan nuqtadagi magnit maydon induksiya vektori topilsin.

91. Uzunligi 40 sm bo'lgan solenoidda 4000 o'ram bor. Agar solenoiddagi tok kuchi 0,5 A bo'lsa, uning o'qidagi magnit maydon induksiya vektorini toping.

92. Agar kuzatuvchi solenoidning o'ziga tomon yo'naltirilgan uchiga qaraganda undan o'tayotgan tokning soat mili yo'nalishi bo'yicha oqayotganini ko'rayotgan bo'lsa, u holda solenoid kuzatuvchiga qaysi qutbi bilan yo'naltirilgan bo'ladi?

93. Sharning ikkita katta — gorizontaal va vertikal doiralari bo'yicha bir xil kattalikda tok oqmoqda (156- b rasm). Ularning yo'nalishlari rasmda ko'rsatilgan. Sharning markazi O nuqtadagi magnit maydon induksiya vektorining yo'nalishini grafik usulda toping. Har bir doiraviy o'ram tekisligiga nisbatan bu vektor qanday burchak ostida yo'nalgan? Ana shunday grafik amallarni tok yo'nalishini avval vertikal doirada, keyin gorizontaal doirada va, nihoyat, ikkala doirada teskariga o'zgartirgan hollar uchun bajaring.

94. Agar 400 o'ramdan iborat solenoiddagi tok kuchi 8 A bo'lganda solenoid ichidagi magnit maydon induksiyasi 0,01 T bo'lsa, solenoidning uzunligi qanday bo'lgan?

95. Tomonlari 3 sm va 5 sm bo'lgan tokli ramka elektromagnit qutblari orasiga joylashtirilgan. Ramka tekisligi magnit kuch chiziqlariga parallel. Ramkadagi tok kuchi 10 A va magnit maydonning induksiyasi 0,1 T bo'lsa, ramkaga magnit maydon tomonidan ta'sir etuvchi kuchlar momentini aniqlang.

96. Magnit maydonda magnit momenti $10 \text{ A} \cdot \text{m}^2$ bo'lgan ramkaga $0,5 \text{ N} \cdot \text{m}$ aylantiruvchi moment ta'sir etadi. Ramka tekisligi magnit kuch chiziqlariga parallel joylashgan. Shu maydonning induksiyasini toping.

97. Ikkita doiraviy o'ram o'zaro tik tekisliklarda joylashib, o'ramlarining markazlari bir-birining ustiga tushadi. Har bir o'ramning radiusi 2 sm va ulardan o'tayotgan tok kuchi bir xil bo'lib, 5 A ga teng. Shu o'ramlar markazidagi magnit maydon induksiya vektori topilsin.

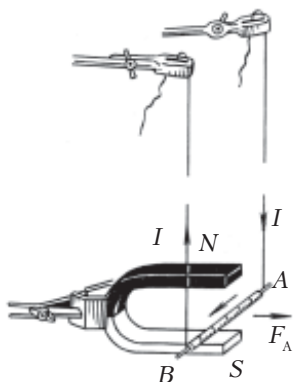
78- §. Magnit maydonning tokli o'tkazgichga ta'siri. Amper qonuni

Biz 73- § da tok o'tayotgan ikkita o'tkazgichning o'zaro ta'sirlashishini ko'rgan edik. Buni o'tkazgichlardan har biriga ta'sir qiluvchi kuchning ikkinchi o'tkazgichdagi tok hosil qilgan magnit maydonga bog'liq bo'lishi oqibatida ro'y beradigan hodisa deb tushunish kerak. Endi doimiy magnit maydonga tokli o'tkazgich kiritganimizda qanday hodisa ro'y berishini quyidagi tajriba yordamida tekshirib ko'raylik.

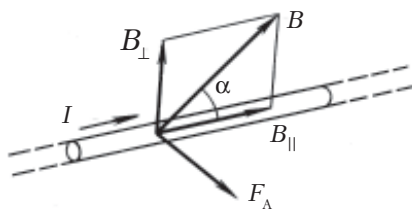
Ikkita elastik simga metall sterjenni taqasimon magnit qutblari o'rtasida turadigan qilib osib (157- rasm), undan tok o'tkazganimizda o'tkazgich harakatga keladi. Tokning yo'nalishini o'zgartirsak, o'tkazgichning harakat yo'nalishi oldingi yo'nalishiga qarama-qarshi tomonga o'zgarishini ko'ramiz. Shunga o'xshash tajribalar asosida tokning yo'nalishi, magnit maydon yo'nalishi va o'tkazgichning harakat yo'nalishi orasidagi munosabatni topish mumkin.

Tokli o'tkazgichga magnit maydon tomonidan ta'sir qiluvchi kuchlarni aniqlash masalasini birinchi bo'lib mashhur fransuz olimi A. Amper 1820- yilda hal qilgan. Amper *magnit maydon tomonidan tokli o'tkazgichga ko'rsatilayotgan ta'sir kuchi kattalik jihatidan I tok kuchiga, magnit maydonning B induksiya vektoriga, o'tkazgichning magnit maydonda joylashgan l qismining uzunligiga hamda magnit maydon induksiya vektori yo'nalishi bilan tok yo'nalishi orasidagi burchak sinusiga to'g'ri proporsional ekanligini aniqladi:*

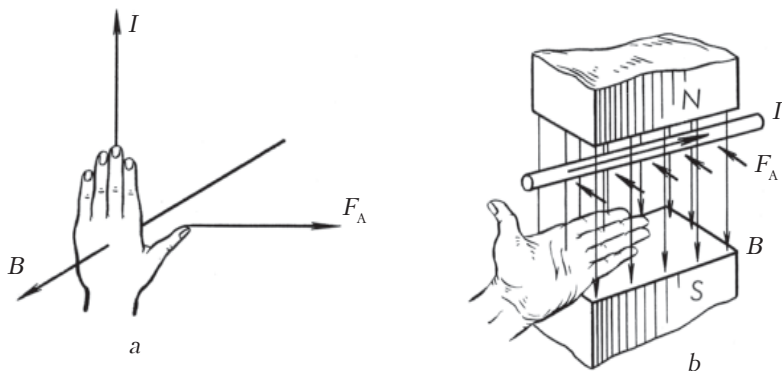
$$F_A = BIl \sin \alpha. \quad (134)$$



157- rasm.



158- rasm.



159- rasm.

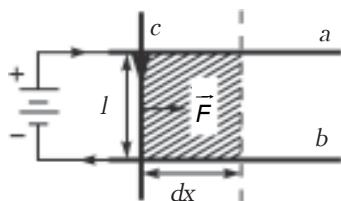
Magnit maydondagi tokli o'tkazgichga ta'sir qiluvchi kuch kattaligini aniqlaydigan bu formula Amper qonuni deb, \overline{F}_A kuch esa Amper kuchi deb ataladi.

Amper qonunidan magnit maydon induksiya vektori tokning yo'nalishiga tik bo'lganda Amper kuchi eng katta qiymatga ega bo'ladi, degan xulosaga kelamiz. Induksiya vektori tokning yo'nalishiga parallel bo'lganda bu kuch nolga teng bo'ladi. Ushbu fakt B magnit induksiya vektorining faqat I tok kuchining yo'nalishiga tik yo'nalgan B_{\perp} tashkil etuvchisigina F_A kuchning hosil bo'lishiga sabab bo'ladi, deb aytishimizga asos bo'la oladi (158-rasm). Amper kuchi tok kuchi yo'nalishiga va magnit induksiya vektoriga tik yo'nalgan bo'ladi. Uning yo'nalishi chap qo'l qoidasi bilan aniqlanadi. Bu qoida quyidagidan iborat: *agar chap qo'limizni kaftiga induksiya vektorining o'tkazgichga tik bo'lgan tashkil etuvchisi kiradigan qilib, ochilgan to'rt barmog'imizni esa tok yo'nalishi bo'ylab joylashtirsak, u holda ochilgan bosh barmog'imiz o'tkazgichga ta'sir qiluvchi kuch (Amper kuchi)ning yo'nalishini ko'rsatadi* (159- a, b rasm).

Magnit maydonning tokli o'tkazgichga ko'rsatadigan ta'siri turli qurilmalarda qo'llaniladi.

79- §. Tokli o'tkazgichni magnit maydonda ko'chirishda bajarilgan ish

Tokli o'tkazgich tashqi magnit maydonda erkin harakatlana oladigan bo'lsin. Buni amalga oshirish uchun ikkita o'zaro parallel a va b sterjenlarning ustiga ko'ndalang qilib uchinchi sterjenni



160- rasm.

joylashtirib, a va b sterjenlarni tok manbayiga ulaymiz (160- rasm). c sterjenning tok o'tayotgan qismining uzunligi l bo'lsin. B magnit maydon induksiya vektori kitobxondan rasm tekisligiga tomon perpendikular yo'nalgan. Magnit maydonni bir jinsli deb hisoblaymiz. 78- § da ko'rganimizdek, l uzunlikdagi tokli o'tkazgichga magnit

maydoni tomonidan $F = IBl$ kuch ta'sir etadi. Uning yo'nalishi chap qo'l qoidasiga binoan topiladi. Bu kuch o'tkazgichni dx masofaga siljitib, o'tkazgich ustida

$$dA = F \cdot dx = IBldx$$

ish bajaradi. 160- rasmdan ko'rinib turibdiki, $ldx = dS$ ko'paytma l o'tkazgich ko'chishda bosib o'tgan (rasmda shtrixlangan) yuzaga teng. $B \cdot dS$ esa shu yuzadan o'tuvchi $d\Phi$ magnit induksiya oqimiga teng. Shuning uchun

$$dA = Id\Phi \quad (135)$$

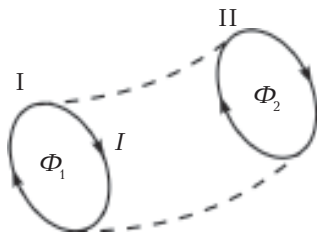
deb yozish mumkin.

Olingan natijani ixtiyoriy magnit maydon uchun va o'tkazgich bilan maydon ixtiyoriy vaziyatda oriyentirlangan holat uchun umumlashtirish mumkin. Bu hollarda ham (135) formulaga kelamiz.

Shunday qilib, *magnit maydonda tokli o'tkazgichni ko'chirishda bajarilgan mexanik ish o'tkazgichdagi tok kuchi bilan shu o'tkazgich kesib o'tgan magnit induksiya oqimining ko'paytmasiga teng ekan.*

(135) ish magnit maydoni hisobiga bajarilmaydi (83- § ga q.), balki zanjirni tok bilan ta'minlab turuvchi manba hisobiga bajariladi.

Endi magnit maydonda tokli yopiq kontur ko'chirilayotgan bo'lsin (161- rasm). Bunda, birinchidan, konturning ko'chish vaqti mobaynida undagi tokning kuchi o'zgarmay qoladi va, ikkinchidan, konturning ko'chishi hamma vaqt bir tekislikda sodir bo'ladi, deb hisoblaymiz.



161- rasm.

Ravshanki, tokli konturni magnit maydonda ko'chirishda bajarilgan ishni hisoblash uchun konturni fikran dl elementlarga ajratish va shu elementlarga qo'yilgan kuchlar bajargan elementar

ishlarning yig'indisini olish kerak. Tegishli hisoblashlar konturni ko'chirishda bajarilgan natijaviy A ish uchun quyidagi ifodani hosil qiladi:

$$A = I(\Phi_2 - \Phi_1), \quad (136)$$

bu yerda: Φ_1 kattalik kontur bilan chegaralangan yuzani I (boshlang'ich) holatda, $\Phi_2 - \Phi_1$ (oxirgi) holatda kesib o'tuvchi magnit induksiya oqimi, $(\Phi_2 - \Phi_1)$ ayirma esa magnit induksiya oqimining o'zgarishi.

Shunday qilib, *oqayotgan tokning kuchi o'zgarmas bo'lgan yopiq konturni magnit maydonda bir vaziyatdan ikkinchi vaziyatga ko'chirishda bajarilgan mexanik ish konturdagi tok kuchi bilan konturning dastlabki va oxirgi holatlarida o'rab turgan yuzidan o'tgan magnit induksiya oqimlari ayirmasining ko'paytmasiga teng.*

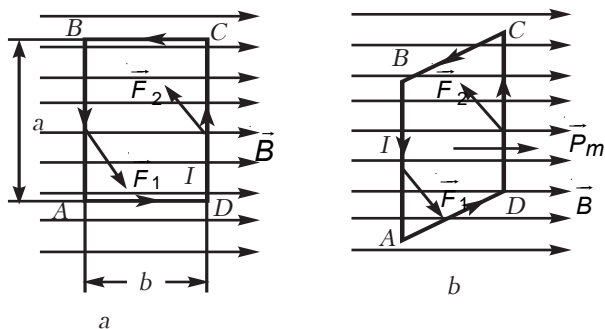
Bu ta'rif tokli berk konturning bir jinsli magnit maydonda ham, bir jinsli bo'lmagan magnit maydonda ham har qanday harakati uchun o'rinli bo'ladi, shuningdek, yuzasi orqali o'zgaruvchi magnit induksiya oqimi o'tayotgan deformatsiyalanuchi kontur va qo'zg'almas kontur bo'lgan hollar uchun ham bu ta'rif to'g'ridir.

80- §. Magnit maydonga kiritilgan tokli ramka

Yuqorida ko'rib o'tdikki, magnit maydondagi tokli o'tkazgichga magnit maydon tomonidan Amper kuchi ta'sir qiladi. Magnit maydonning tokli ramka (tokli yassi kontur) ga ta'siri amalda muhim rol o'ynaydi. Aytaylik, I tok o'tayotgan $ABCD$ to'g'ri burchakli ramka bir jinsli magnit maydonda joylashtirilgan bo'lsin. Agar magnit induksiya vektori kontur tekisligiga parallel yo'nalgan bo'lsa [(134) formulaga asosan, $\sin \alpha = 0$ bo'lganligi uchun], uning AD va CB tomonlariga kuch ta'sir qilmaydi (162- a rasm). Ramkani AB tomoniga, Amper qonuniga asosan, rasmdan kitobxonga qarab yo'nalgan F_1 kuch, CD tomoniga esa, aksincha, kitobxondan rasm tomonga tik yo'nalgan F_2 kuch ta'sir etadi. AB tomonning uzunligi a ga teng bo'lsa, bu tomonga ta'sir etuvchi kuch quyidagicha ifodalanadi:

$$F_1 = IBa.$$

Ammo \vec{F}_1 va \vec{F}_2 kuchlar son jihatdan teng, lekin qarama-qarshi yo'nalgan bo'ladi. Bu \vec{F}_1 va \vec{F}_2 kuchlar juft kuchlar deb ataladi.



162- rasm.

Shunday qilib, ramkaning AB va CD tomonlariga juft kuchlar ta'sir qilar ekan. Juft kuchlarning yo'nalishiga e'tibor berar ekanmiz, quyidagilarni ko'ramiz: juft kuchlar ta'sirida ramka tekisligi magnit maydon induksiya chiziqlariga perpendikular ravishda shunday joylashishga intiladiki, biz magnit maydon yo'nalishi bo'ylab qaraganimizda ramkadagi tok soat mili harakati yo'nalishi bo'ylab oqayotgan bo'ladi. Boshqacha qilib aytganda, tokli ramka magnit maydonda shunday vaziyatni egallashga intiladiki, bunda ramkadagi tokning ramka o'qida hosil qiladigan magnit maydon induksiyasi tashqi magnit maydon induksiyasi bilan bir xil yo'nalgan bo'ladi (162- b rasm).

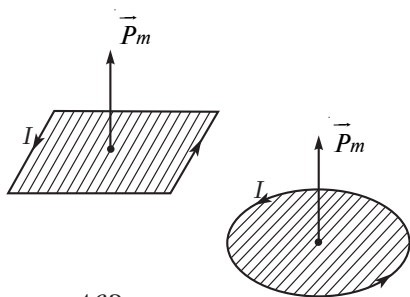
Ramkaga ta'sir etuvchi juft kuchlarning momenti quyidagiga teng:

$$M = Fb = IBab,$$

bunda b – ramka BC tomonining uzunligi. Ramkadan oqayotgan tok kuchi bilan ramka yuzining ko'paytmasi ramkaning magnit momentiga teng ekanligini yuqorida ko'rgan edik. Ramkaning yuzi $S = a \cdot b$ ekanligini e'tiborga olsak, quyidagini yozish mumkin:

$$M = P_m \cdot B, \quad (137)$$

P_m – ramkaning magnit momenti. Tajribalarning ko'rsatishicha, magnit momentining son qiymati konturdan o'tayotgan tok kuchi bilan uning yuzining kattaligiga bog'liq bo'lib (72- § ga q.), konturning shakliga bog'liq emas (163- rasm).



163- rasm.

Shunday qilib, magnit maydonga kiritilgan tokli ramkaga magnit momentiga proporsional bo'lgan juft kuchlar momenti ta'sir qiladi va bu kuch momenti ramkani uning tekisligi maydonga perpendikular joylashadigan qilib buradi. Ramkaning magnit momenti esa, o'z navbatida, undan o'tayotgan tok kuchiga proporsionaldir. Bu holdan elektr o'lchov asboblarning tuzilishida foydalaniladi.

81- §. Parallel toklarning o'zaro ta'siri. Tok kuchi birligi – amper

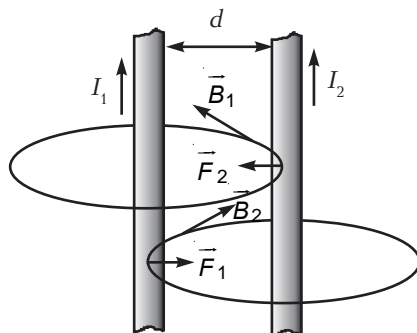
Amper qonunidan foydalanib, vakuumda o'zaro parallel joylashgan ikkita cheksiz uzun to'g'ri o'tkazgichdan tok o'tganda ular orasida vujudga keladigan o'zaro ta'sir kuchlarining ifodasini topish mumkin (164- rasm). O'tkazgichlardan o'tayotgan tok kuchlari I_1 va I_2 , ular orasidagi masofa d bo'lsin, I_1 tokning magnit maydoni I_2 tokning l uzunlikdagi qismiga qanday kuch bilan ta'sir etishini ko'rib chiqamiz. Buning uchun I_1 tokning magnit maydon induksiya vektorining chiziqlari konsentrik aylanalardan iborat ekanligini va agar I_1 tok pastdan yuqoriga oqayotgan bo'lsa, ikkinchi o'tkazgich ustida yotgan nuqtalarda B_1 vektor (parma qoidasiga binoan) kitobxondan yo'nalgan bo'lishini qayd qilib o'tamiz. Bu magnit maydon induksiya vektori son jihatidan Bio – Savar – Laplas qonuniga asosan quyidagiga teng:

$$B_1 = \mu_0 \frac{I_1}{2\pi d}.$$

Birinchi tokning magnit maydoni tomonidan ikkinchi tokka ko'rsatiladigan F_2 ta'sir kuchi kattalik jihatidan, Amper qonuniga muvofiq, quyidagiga teng bo'ladi:

$$F_2 = B_1 I_2 l,$$

bunda $\sin \alpha = 1$, chunki B_1 vektor I_2 tok yo'nalishiga perpendikular, ya'ni $\alpha = 90^\circ$. Bu formulaga B_1 ning yuqoridagi qiymatini keltirib qo'yib, F_2 kuch uchun quyidagi munosabatni hosil qilamiz:



164- rasm.

$$F_2 = \mu_0 \frac{I_1 \cdot I_2}{2\pi d} l. \quad (138)$$

Xuddi shunday mulohazalarga asoslanib, I_2 tok I_1 tokning l qismi atrofida hosil qiladigan \vec{B}_2 induksiya vektori chizma tekisligiga perpendikular va chizma orqasiga yoʻnalgan holda I_1 tokning l qismi I_2 tokka tortiladi (164- rasmga q.) va bu tortishish kuchining kattaligi

$$F_1 = \mu_0 \frac{I_2 \cdot I_1}{2\pi d} l$$

ekanligini isbot qilish mumkin.

Shunday qilib, bir tomonga oqayotgan ikki parallel tok bir-biriga tortishadi va bu tortishish kuchlari oʻzaro teng, degan xulosaga kelamiz. (138) formuladan koʻrinadiki, parallel toklar har bir tokning l uzunligiga, tok kuchlarining koʻpaytmasiga toʻgʻri proporsional va ular orasidagi masofaga teskari proporsional boʻlgan kuch bilan oʻzaro taʼsirlashadi.

Xuddi shunga oʻxshash tekshirishlar qarama-qarshi yoʻnalgan ikkita parallel tok bir-biridan itarilishini va bu itarishish kuchining son qiymati ham (138) formula bilan ifodalanishini koʻrsatadi.

(138) formula SI da asosiy birliklardan biri — tok kuchi birligi amper (A) ning taʼrifiga asos qilib olingan. *Amper — vakuumda bir-biridan 1 m masofada joylashgan ikkita cheksiz uzun parallel oʻtkazgichning har biridan bir xil miqdorda tok oʻtganda oʻtkazgichlar orasida ularning har bir metrda $2 \cdot 10^{-7}$ N ga teng oʻzaro taʼsir kuchi hosil qiladigan tok kuchidir.*

Shunday oʻtkazgichlar 164- rasmda tasvirlangan deb hisoblaymiz. U holda

$$I_1 = I_2 = 1\text{A}; d = 1\text{m}; l = 1\text{m} \quad \text{va} \quad F = 2 \cdot 10^{-7}\text{N}.$$

Bu qiymatlarni (138) formulaga keltirib qoʻyib, μ_0 magnit doimiysining son qiymatini topamiz:

$$\mu_0 = \frac{2\pi d F}{I_1 \cdot I_2 \cdot l} = \frac{2\pi \cdot 2 \cdot 10^{-7} \text{N} \cdot \text{m}}{1\text{A} \cdot 1\text{A} \cdot 1\text{m}} = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{N}}{\text{A}^2}. \quad (139)$$

82- §. Elektr o'lchov asboblari

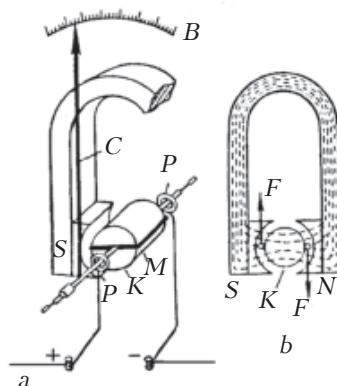
Tokli o'tkazgichlar orasidagi yoki tokli o'tkazgich bilan doimiy magnit orasidagi o'zaro ta'sir tok kuchini o'lchash imkonini beradi. Ko'p elektr o'lchov asboblarning tuzilishi ana shunday o'zaro ta'sirlarga asoslangan. Bu o'lchov asboblarni uchta sistemaga ajratiladi. Ular: 1) magnitoelektrik sistema asboblari – doimiy magnitlar bilan tokli o'tkazgichlarning o'zaro ta'siriga asoslangan; 2) elektromagnit sistema asboblari – yumshoq temir (ferromagnit)dan yasalgan o'zakning tokli g'altak ichiga tortilishiga asoslangan; 3) elektrodinamik sistema asboblari – ikkita tokli g'altakning o'zaro ta'siriga asoslangan.

Magnitoelektr sistemaga kiradigan asboblardan biri – g'altagi aylanadigan galvanometrning tuzilishi 165- rasmda ko'rsatilgan. Kuchli po'lat magnitning qutblari orasiga K temir silindr bilan unga kiydirilgan yengil M aluminiy ramka joylashtirilgan. Bu ramkaga izolatsiya qilingan ingichka simdan g'altak o'ralgan. Ramkani ma'lum vaziyatda ikkita P spiral prujina tutib turadi. O'lchanadigan tok g'altakka P prujinalar va yarim o'q orqali beriladi. G'altakdan tok o'tayotganda g'altak magnit maydonda buriladi, bunda prujinalar buralib, bu hol C strelka yordamida B shkalada o'z aksini topadi. Tok qancha kuchli bo'lsa, ramkaning burilish burchagi ham shuncha katta bo'ladi. Shuning uchun magnitoelektr sistema asboblarning shkalasi bir tekis bo'lingan bo'ladi.

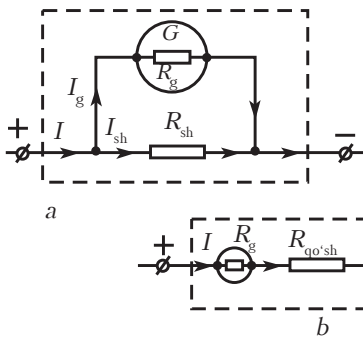
Bu sistemadagi galvanometrlar juda sezgir va juda aniq bo'ladi. G'altakdan o'tayotgan tokning yo'nalishi o'zgariganida ramkaning aylanish yo'nalishi ham o'zgaradi, shuning uchun magnitoelektr asboblarda o'zgaruvchan toklarni o'lchash uchun yaramaydi.

Galvanometrning g'altagiga katta qarshilik ketma-ket qilib ulansa, bu asbob yordamida kuchlanishlarni o'lchash mumkin. Katta qo'shimcha qarshilik ulangan galvanometr – voltmetrdir.

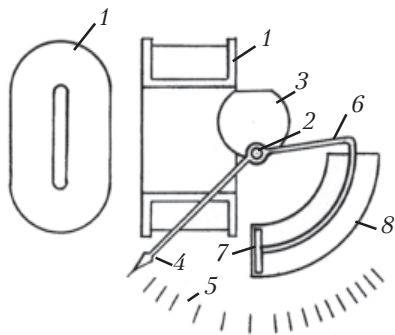
Galvanometr g'altagiga parallel ravishda shunt ulansa, u holda ancha kuchli toklarni o'lchash uchun ishlatiladigan asbob – ampermetr hosil bo'ladi. 166- a rasmda ampermetrning



165- rasm.



166- rasm.



167- rasm.

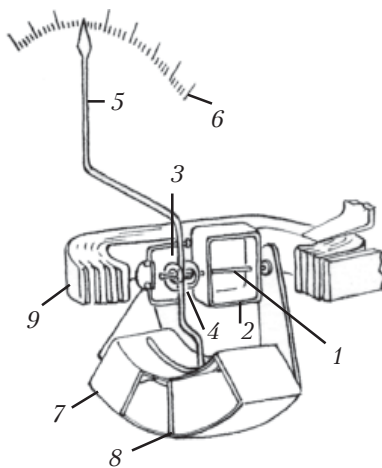
tuzilish sxemasi, 166- b rasmda esa voltmetrning tuzilish sxemasi ko'rsatilgan. Shunt va qo'shimcha qarshiliklar asboblarning korpusining ichida joylashtirilgan bo'ladi.

Elektromagnit sistemaga sezgirligi kamroq, lekin juda keng tarqalgan asboblarning — qo'zg'almas g'altakli va qo'zg'aluvchan ferromagnit o'zakli ampermetr va voltmetrlar kiradi. Bunday asboblarning prinsipial tuzilishi 167- rasmda tasvirlangan: bu yerda 1 o'lchanayotgan tok o'tayotgan g'altak, 2 strelka va havo tinchlantirgich o'qi, 3 harakatchan temir o'zak, 4 strelka, 5 shkala, 6 havo tinchlantirgich o'qi, 7 havo tinchlantirgich porsheni, 8 havo tinchlantirgich korpusi (silindr). 1 g'altakda oqayotgan tok magnit maydon hosil qiladi, bu maydon ta'sirida 3 temir o'zak magnitlanadi va magnit maydon kuchliroq bo'lgan tomonga, ya'ni g'altakning ichiga tortiladi. Natijada g'altakka biriktirilgan 4 strelka buriladi. Strelkaning tebranishlari 7 porshen bilan tinchlantiriladi (dempfirilanadi).

Elektromagnit sistema asboblarning shkalasi notekis bo'lingan va ular tashqi magnit ta'siriga sezgir bo'ladi. Lekin ular nagruzka ortib ketganda ham buzilmaydi va o'zgarmas hamda o'zgaruvchan toklarni o'lchash uchun yaroqlidir.

Elektrodinamik sistema asboblarning ishlashi parallel toklar uchun Amper qonuniga asoslangan. 168- rasmda shu sistema asboblarning prinsipial sxemasi keltirilgan. Bu yerda 1 qo'zg'aluvchan g'altak o'qi, 2 qo'zg'aluvchan g'altak, 3 va 4 spiralsimon tok o'tkazuvchan prujinalar, 5 strelka, 6 shkala, 7 havo tinchlantirgich korpusi, 8 havo tinchlantirgich porsheni, 9 qo'zg'almas g'altak. 9 qo'zg'almas g'altak ichida tuzilishi jihatdan magnitoelektr

galvanometr ramkasiga o'xshash (165- rasmga q.) kichikroq 2 qo'zg'aluvchan g'altak joylashgan. G'altaklarda tok bo'lmaganda ularning tekisliklari bir-biri bilan biror burchak hosil qiladi. Ikkala g'altak bo'yicha tok o'tkazilganda ularning parallel o'ramlari o'zaro ta'sirlashadi. Natijada qo'zg'aluvchan g'altak tok kuchiga proporsional bo'lgan biror burchakka buriladi va 5 strelka 6 shkala sirtida siljiydi. Bu asboblardagi havo tinchlantirgichning vazifasi elektromagnit sistema asboblardagi havo tinchlantirgichning vazifasi bilan bir xil. Ampermetrlarda ikkala g'altak o'zaro parallel, voltmetrlarda o'zaro ketma-ket ulanadi.



168- rasm.

Ikkala g'altakda tokning yo'nalishi bir vaqtda o'zgarganda qo'zg'aluvchan g'altakka ko'rsatiladigan ta'sir yo'nalishi o'zgar-maydi. Shuning uchun elektrodinamik sistema asboblardan ham o'zgar-mas, ham o'zgaruvchan toklarni o'lchash uchun foydalanish mumkin. Elektrodinamik sistema asboblari ham magnitoelektr sistema asboblari kabi yuqori sezgirlikka ega.

83- §. Lorens kuchi

Tok o'tayotgan o'tkazgich toksiz o'tkazgichdan unda zaryad tashuvchilarning tartibli harakati mavjudligi bilan farq qiladi. Bundan magnit maydondagi tokli o'tkazgichga ta'sir etuvchi kuch harakatlanuvchi alohida zaryad (elektron)larga ta'sir etuvchi kuchlardan iborat, binobarin, ta'sir zaryadlardan ular oqayotgan o'tkazgichga berilishi kerak, degan xulosa kelib chiqadi. Harakatlanayotgan zaryadlarga magnit maydon tomonidan berilgan impuls to'qnashish paytida me tallning kristall panjarasi ionlariga yoki elektrolit molekulariga uzatiladi. Bu xulosa bir qator tajribalar asosida tasdiqlanadi. Xususan, erkin harakatlanuvchi zaryadlan-gan zarralar dastasi, masalan, elektronlar dastasi magnit maydon ta'sirida og'adi.

Endi harakatlanayotgan zaryadga magnit maydon tomonidan ta'sir qiluvchi kuchning ifodasini topaylik. Buning uchun Amper

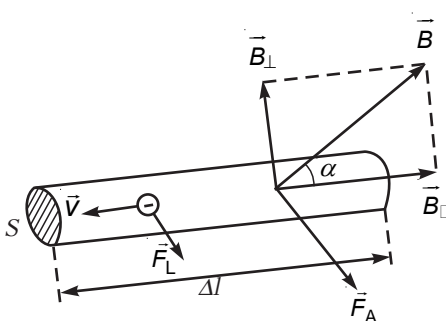
qonunidan foydalanamiz. Tok kuchi son jihatidan o'tkazgich kesimidan vaqt birligi ichida o'tgan zaryad miqdoriga teng. Agar ayrim zaryadlarning kattaligi q , o'tkazgichning birlik hajmida harakatlanuvchi zaryadlar soni n , ularning tartibli harakat tezligi v va o'tkazgichning ko'ndalang kesimi S bo'lsa, u holda tok kuchi $I = qnvS$ ga teng ekanligini ko'rib o'tgan edik. Tok kuchining bu qiymatini (134) formulaga qo'yib, quyidagi ifodani hosil qilamiz.

$$F_A = qnvS \Delta l B \sin \alpha,$$

bunda: Δl — o'tkazgichning magnit maydondagi qismining uzunligi, α — Δl bilan \vec{B} induksiya vektori orasidagi burchak (169- rasm). O'tkazgichning Δl uzunligida harakatlanayotgan barcha zaryadlar soni $N = nS\Delta l$; F_A esa shu zaryadlarga ta'sir etuvchi kuch. Bundan ko'rinadiki, harakatlanayotgan har bir zaryadga magnit maydon tomonidan

$$F_L = \frac{F_A}{N} = \frac{qnvS\Delta l B \sin \alpha}{nS\Delta l} = qvB \sin \alpha \quad (140)$$

kuch ta'sir etadi. Bu kuch niderland fizik-nazariyotchisi X. Lorens tomonidan aniqlangan bo'lib, uni Lorens kuchi deb ataladi. Lorens kuchi maydon induksiyasi bilan tezlik vektorlariga perpendikular bo'lib, uning yo'nalishi chap qo'l qoidasiga asosan aniqlanadi. *Agar chap qo'limiz kaftini unga zaryad tezligi \vec{v} ga perpendikular bo'lgan magnit maydon induksiyasi \vec{B}_\perp vertikal tashkil etuvchisining chiziqlari kiradigan qilib tutib, yoyilgan to'rt barmoqni musbat zaryad yo'nalishida (yoki manfiy zaryad yo'nalishiga teskari yo'nalishda) joylashtirsak, u holda 90° burchakka kerilgan bosh barmog'imizning yo'nalishi zaryadga ta'sir etuvchi \vec{F}_L Lorens kuchining yo'nalishini ko'rsatadi* (169- rasmga q.).



169- rasm.

Lorens kuchi har doim zaryadlangan zarraning yo'nalishiga perpendikular yo'nalgandir, shuning uchun Lorens kuchi zarra ustida ish bajarmaydi. Demak, zaryadlangan zarraga o'zgarmas magnit maydon orqali ta'sir etib, uning energiyasini o'zgartirish mumkin emas.

Bir jinsli magnit maydonda harakatlanayotgan zaryadli zarra uchun Lorens kuchi markazga intilma kuch sifatida namoyon bo'lib, zarrani o'zgaras tezlik bilan harakat yo'nalishiga perpendikular tekislikda aylana trayektoriya bilan harakatlanishga majbur etadi.

84- §. Xoll effekti

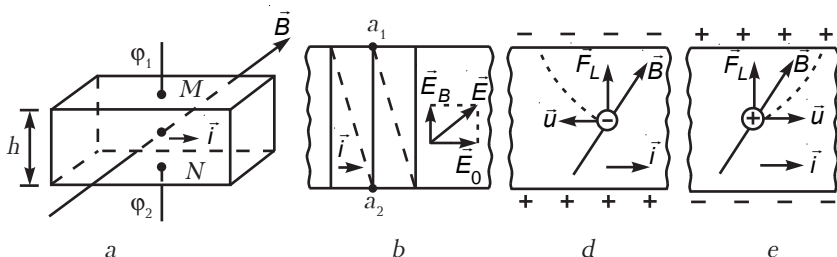
Magnit maydonda harakatlanayotgan elektr zaryadga ta'sir etuvchi Lorens kuchining mavjudligi Xoll effekti deb ataladigan hodisani izohlashga imkon beradi. Xoll effekti 1879-yilda amerikalik fizik E.Xoll tomonidan kashf qilingan bo'lib, uning fizik mazmuni quyidagidan iborat.

Metall yoki yarimo'tkazgich plastinkani magnit maydonda shunday joylashtiraylikki, bunda plastinkadan oqayotgan tok zichligi \vec{i} va magnit maydon induksiya vektori \vec{B} o'zaro perpendikular bo'lsin. U holda tok hosil qilayotgan zaryadli zarralarga Lorens kuchi ta'sir etib, zarralarni tok yo'nalishiga perpendikular yo'nalishda og'diradi. Natijada plastinkaning tok va magnit maydon yo'nalishiga parallel M va N sirtlarida zaryadlar to'plana boshlaydi, sirtlar orasida $U = \varphi_1 - \varphi_2$ potensiallar ayirmasi hosil bo'ladi (170-a rasm). Uning kattaligi

$$U = R_H i h B \quad (141)$$

ifoda orqali topiladi, bu yerda: h – plastinkaning kengligi, R_H – Xoll doimiy si deb ataladigan kattalik bo'lib, uning qiymati plastinka materialiga bog'liq.

Xoll effektini metallarning elektron nazariyasi asosida tushuntirish mumkin. Magnit maydon bo'lmaganda plastinkadagi tok \vec{E}_0 elektr maydon bilan belgilanadi (170-b rasm). Bu maydonning ekvipotensial sirtlari \vec{E}_0 vektorga (rasmda tutash chiziq bilan tasvirlangan) perpendikular tekisliklardan iborat. Har



170- rasm.

bir sirtning barcha nuqtalaridagi potensial bir xil bo'ladi. Shunday ekan, bir ekvipotensial sirtida yotgan a_1 va a_2 nuqtalardagi potensial ham bir xil va bu nuqtalar orasidagi potensiallar farqi nolga teng. Agar plastinka metall dan yasalgan bo'lsa, u holda tok tashuvchilar erkin elektronlar bo'lib, ularning tartibli harakat tezliklari \vec{u} tok zichligi \vec{i} vektori yo'nalishiga qarama-qarshi yo'nalgan bo'ladi.

Magnit maydon kiritilganda har bir elektronga plastinkaning M va N tomonlariga perpendikular bo'lgan h tomoni bo'ylab yo'nalgan \vec{F}_L Lorens kuchi ta'sir etadi. Natijada elektronlar plastinkaning yuqori (M) sirti tomon og'adi (170- b rasmdagi punktir chiziq). (Agar tok tashuvchilar musbat zaryadli zarralar, masalan, p - tip yarimo'tkazgichdagi teshiklar bo'lsa, bu holda ham ular magnit maydon ta'sirida plastinkaning M sirti tomon og'ishini 170- e rasmdan tushunish qiyin emas). Bu hol M sirtida ortiqcha manfiy zaryadlarning, pastki N sirtida esa, mos holda, musbat zaryadlarning to'planishiga olib keladi. Demak, qo'shimcha \vec{E}_B elektr maydon hosil bo'ladi (170- b rasimga q.). Bu elektr maydonning zaryadga ta'sir etuvchi $\vec{F}_e = e\vec{E}_B$ elektr kuchi magnit maydoni tomonidan shu zaryadga ta'sir etuvchi $\vec{F}_L = e[\vec{u} \cdot \vec{B}]$ Lorens kuchi bilan muvozanatlashgan vaqtdan boshlab, ko'ndalang yo'nalishda zaryadlarning statsionar taqsimoti vujudga keladi. \vec{E}_B qo'shimcha maydon tok hosil qiluvchi \vec{E}_0 maydon bilan qo'shib, natijalovchi \vec{E} maydonni hosil qiladi (170- b rasimga q.). Ekvipotensial sirtlar har bir nuqtada \vec{E} vektoriga perpendikular yo'nalganligidan, bu sirtlar burilib, 170- b rasmda punktir bilan tasvirlangan holatni egallaydi. Dastlab, bir ekvipotensial sirtida yotgan a_1 va a_2 nuqtalar endi turli (boshqaboshqa) ekvipotensial sirtlarda yotadi, binobarin, turli potensialga ega bo'ladi va endi ular orasidagi potensiallar farqi nolga teng bo'lmaydi.

Shunday qilib, tok tashuvchilarning statsionar taqsimoti vujudga kelganda $F_e = F_L$ yoki $e u B = e E$ bo'ladi. $E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{h}$ (10- § ga q.) va $i = ne u$ (23- § q.) ekanligini nazarga olganda,

$$\frac{iB}{ne} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{h},$$

bundan

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{1}{ne} ihB \quad (142)$$

munosabat kelib chiqadi, bu yerda n – tok tashuvchilarning konsentratsiyasi. (141) va (142) ifodalarni taqqoslab, Xoll doimiysi uchun

$$R_H = \frac{1}{ne} \quad (143)$$

ifodani olamiz. Bu ifodadan ko‘rinadiki, R_H Xoll doimiysi zaryad tashuvchilarning n – konsentratsiyasiga bog‘liq ekan. Bundan, Xoll doimiysini tajribada o‘lchab, tok tashuvchilarning konsentratsiyasini topish mumkin.

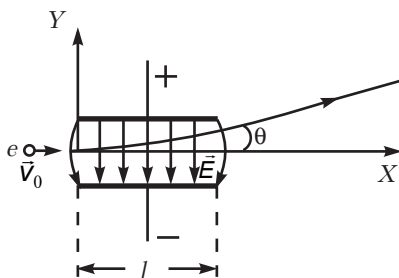
Xoll effekti faqat elektron o‘tkazuvchanlikka ega bo‘lgan (metall va yarimo‘tkazgich) o‘tkazgichlardagina uchraydi. Elektrolitlar ion o‘tkazuvchanlikka ega bo‘ladi, shu sababli ularda effekt sezilarli bo‘lmaydi, chunki og‘ir ionlarning tezligi elektronlarnikidan ancha kichik bo‘ladi.

Xoll effektidan texnikada keng foydalaniladi. Masalan, Xoll elektr yurituvchi kuchi datchiklari deb ataladigan mexanizmlar shular jumlasiga kiradi. Bunday datchiklarda magnit maydon vujudga kelganda yoki zanjirda tok paydo bo‘lganda potensiallar ayirmasi (EYK) hosil bo‘ladi. Datchiklar yordamida o‘zgarmas va o‘zgaruvchan magnit maydonlarning induksiya vektorini o‘lchash, magnit maydonning bir jinslimasligini o‘rganish, signallarni modullashtirish va detektorlash, hatto tebranishlarni kuchaytirish va generatsiyalash mumkin.

85- §. Harakatlanayotgan zaryadli zarralarning elektr va magnit maydonlarda og‘ishi

Bizga ma’lumki, kuchlanganligi \vec{E} bo‘lgan bir jinsli elektr maydoni mavjud bo‘lgan fazoda \vec{v} tezlik bilan harakatlanayotgan e zaryadli zarraga $\vec{F}_e = e\vec{E}$ elektr kuchi ta’sir etadi. Agar shu fazoda elektr maydonidan tashqari induksiya \vec{B} bo‘lgan bir jinsli magnit maydon ham mavjud bo‘lsa, u holda zarraga $\vec{F}_L = e[\vec{v} \cdot \vec{B}]$ Lorens kuchi ta’sir etadi. Ikkala kuch ham zarraning harakat trayektoriyasini o‘zgartiradi, zarrani o‘z yo‘nalishidan og‘diradi. Shu hollarni ko‘rib chiqaylik.

1. Faraz qilaylik, v_0 tezlik bilan X o‘qi yo‘nalishida harakatlanayotgan zaryadli zarra, masalan, elektron yassi kondensator qoplamalari orasida hosil qilingan elektr maydoniga uchib kirayotgan bo‘lsin (171- rasm). Agar qoplamalar orasidagi masofa



171- rasm.

qoplamalarning l uzunligidan ancha kichik bo'lsa, u holda maydonni bir jinsli deb hisoblash mumkin. Maydon yo'nalishi Y o'qining manfiy yo'nalishi bilan mos tushadi. Biz ko'rayotgan bu holda elektronga faqat \vec{F}_e elektr kuchi ta'sir etib, uning harakat trayektoriyasi XY tekislikda yotadi.

Elektr maydon bir jinsli bo'lgani uchun elektronga ta'sir etuvchi \vec{F}_e kuch o'zgarmas bo'ladi. Shuning uchun elektronning harakati gravitatsion maydonda gorizontaal otilgan jismning harakatiga o'xshaydi. Binobarin, elektronning elektr maydon ta'siridagi harakat trayektoriyasi parabola ko'rinishida bo'ladi.

Tegishli hisoblashlarning ko'rsatishicha, kondensator maydoni orqali o'tgandan so'ng zarralar dastasining θ og'ish burchagi quyidagi munosabatdan hisoblab topiladi:

$$\operatorname{tg}\theta = \frac{e}{m} \cdot \frac{lE}{v_0^2}, \quad (144)$$

bu yerda: E – yassi kondensator elektr maydoni kuchlanganligi, m – elektronning massasi, e – elektron zaryadi. Demak, elektronlar maydondan chiqib, maydon hosil qilgan kondensator markazidan (144) formula bilan aniqlanuvchi θ burchak ostida uchib chiqqandek harakatlanadi (171- rasmga q.), degan xulosaga kelamiz. (144) ifodadan ko'rinadiki, elektronlar dastasining elektr maydonida og'ishi elektronning e/m solishtirma zaryadiga bog'liq ekan.

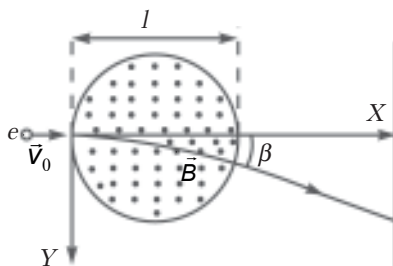
2. Endi elektronlar dastasining bir jinsli magnit maydonidagi harakatini ko'rib chiqaylik.

Faraz qilaylik, X o'qi yo'nalishida v_0 tezlik bilan harakatlanayotgan elektronlar Z o'qi bo'yicha yo'nalgan va induksiyasi \vec{B} ga teng bir jinsli magnit maydoniga uchib kirayotgan bo'lsin (172- rasm). Har bir elektronga magnit maydoni tomonidan Lorens kuchi ta'sir etadi. Elektron zaryadi manfiy, shuning uchun chap qo'l qoidasiga binoan, Lorens kuchi Y o'qi yo'nalishida bo'lib, elektron trayektoriyasini shu yo'nalishda og'diradi.

Tegishli hisoblashlarning ko'rsatishicha, magnit maydonida l uzunlikdagi yo'l davomida elektronlar dastasining β og'ish burchagi

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{e}{m} \cdot \frac{lB}{v_0} \quad (145)$$

ifodadan aniqlanadi. Demak, elektronlar magnit maydondan chiqib ogʻanda ular xuddi maydon markazidan qiymati (145) ifoda bilan aniqlanadigan β burchak ostida uchib chiqqandek harakatlanadi.



172- rasm.

Elektr maydon taʼsirida (144)

ogʻish kabi magnit maydon taʼsirida (145) ogʻish ham elektronning e/m solishtirma zaryadiga toʻgʻri proporsional ekan.

(144) va (145) ifodalardan kelib chiqadigan eng muhim xulosa shundan iboratki, bunda e/m solishtirma zaryadi va v_0 tezligi bir xil boʻlgan zarralar bir xil burchakka ogʻadi. Bu holatdan elektronning solishtirma zaryadini va undan massasini aniqlash imkoni tugʻiladi. Buning uchun tajribada ogʻish burchagini oʻlchash lozim. Bu maqsadda koʻpgina usullar ishlab chiqilgan.

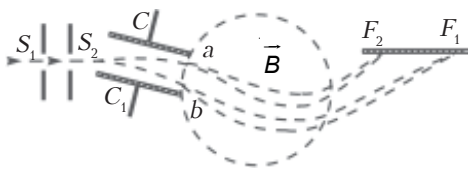
Turli usullar vositasida tajribada olingan natijalar asosida elektron solishtirma zaryadining topilgan eng aniq qiymati quyidagicha:

$$\frac{e}{m} = 1,759 \cdot 10^{11} \frac{\text{C}}{\text{kg}}$$

86- §. Mass-spektrometr

Zaryadli zarralarning elektr va magnit maydonlarida ogʻishidan foydalanib, musbat va manfiy ionlarning ham e/m solishtirma zaryadini aniqlash mumkin. Lekin elektronlarning solishtirma zaryadini aniqlash usullari dastadagi barcha zarralar birday tezlikka ega boʻlgandagina yaroqli boʻladi. Elektronlar dastasida shunday. Chunki elektronlar dastasini tashkil qilgan hamma elektronlar ular uchib chiqadigan katod bilan anod orasiga qoʻyilgan bir xil potentsiallar farqi taʼsirida tezlashtiriladi. Shuning uchun dastadagi elektronlar tezliklarining orasidagi farq juda ham kichik boʻladi.

Elektronning e/m solishtirma zaryadini aniqlash uchun qoʻllaniladigan usullarni ionlarga tatbiq etish mumkin emas. Buning sababi ionlarning manbaji sifatida gaz razryadi olinadi. Bunda ionlar razryadning turli joylarida, potentsiallari turlicha boʻlgan sohalarida hosil boʻlgani uchun ularning olgan boshlangʻich tezliklari ham



173- rasm.

turlicha bo‘ladi. Shuningdek, tezliklari har xil bo‘lgan ionlar ularga bir xil maydonlar ta‘sir etganda ham turli kattalikka og‘adi. Shu sababli bu tajribalarda e/m ni o‘lchab bo‘lmaydi.

1911- yilda ingliz fizigi J. Tomson tomonidan ionlarning solishtirma zaryadini aniqlash imkonini beradigan „parabola usuli“ ishlab chiqildi. Keyinchalik, 1919- yilda bu usulni ingliz fizigi F. Aston takomillashtirib, ionlarning solishtirma zaryadini aniqlash uchun ishlatiladigan asbobni yaratdi. Bu asbob mass-spektrograf deb ataladi.

Aston asbobining prinsiplial sxemasi 173- rasmda tasvirlangan. S_1 va S_2 tirqishlar sistemasi tomonidan ajratib olingan ingichka ionlar dastasi C va C_1 plastinkalar orasida hosil qilingan \vec{E} kuchlanganlikli bir jinsli elektr maydon orqali o‘tadi. e/m solishtirma zaryadi bir xil, lekin tezliklari turlicha bo‘lgan ionlar elektr maydon ta‘sirida turli kattalidagi burchakka og‘adi: dastaning b chekkasiga eng sekin harakatlanuvchi ionlar (ular kuchliroq og‘adi), a chekkasiga esa eng tez harakatlanuvchi ionlar (ular kamroq og‘adi) mos keladi, natijada ionlar elektr maydondan sochiluvchi (kengaygan) dasta ko‘rinishida chiqadi. So‘ng bu dasta elektr maydon yo‘nalishiga perpendikular va chizma tekisligiga kiruvchi yo‘nalishda bo‘lgan \vec{B} induksiyali bir jinsli magnit maydonga kiradi. Magnit maydon tomonidan ionlarga Lorens kuchi ta‘sir etadi, natijada ularning trayektoriyalari egrilanadi. Lekin magnit maydonda ham ionlar trayektoriyalarining egrilanish kattaligi ionlarning tezliklariga bog‘liq bo‘ladi: eng sekin harakatlanuvchi b ionlar ko‘proq, eng tez harakatlanuvchi a ionlar esa kamroq m og‘adi. Shu sababli magnit maydondan chiqqandan so‘ng bir (masalan, F_1) nuqtada yig‘iluvchi ionlar dastasi hosil bo‘ladi (173- rasimga q.).

Solishtirma zaryadi boshqacha va tezliklari har xil bo‘lgan ionlar boshqa (masalan, F_2) nuqtada yig‘iladi. Tegishli hisoblashlar, e/m turlicha bo‘lgan ionlardan tashkil topgan dastalar kesishadigan nuqtalar taxminan bir to‘g‘ri (F_1F_2) chiziqda yotishini ko‘rsatadi. Agar shu to‘g‘ri chiziq bo‘yicha fotoplastinka joylashtirilsa, unda har biri e/m ning ma‘lum qiymatlariga mos keluvchi qator shtrixlar hosil bo‘ladi.

Ionlarning zaryadlari bir xil bo'lganda, shtrixlarning o'rnini faqat ionlarning m massasi bilan aniqlanadi. Bu chiziqlarning bir-biriga nisbatan vaziyatini o'lchab, m massalar nisbatini topish mumkin.

Hozirgi vaqtda takomillashtirilgan mass-spektrograflarning ko'pgina nusxalari mavjud. Shuningdek, ionlarni fotoplastinkalar bilan emas, balki elektr qurilmalar yordamida qayd qiluvchi asboblarni yaratilgan. Bunday mass-spektrograflarni mass-spektrometrlar deyiladi.

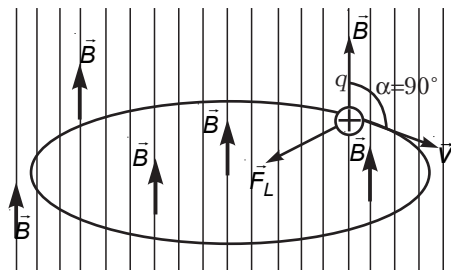
Mass-spektrometrlar ilmiy-tadqiqot ishlarida, jumladan, yadro fizikasida kimyoviy elementlarning izotoplarini aniqlashda, kimyo sohasida moddalarni kimyoviy analiz qilishda ishlatiladi.

87- §. Siklotron

Harakatlanayotgan zarralarga magnit maydon ko'rsatadigan ta'sirdan siklik tezlatkichlar (siklotron, sinxrotron, sinxrofazotron)da, magnitogidrodinamik generatorlarda foydalaniladi. Quyida siklotronning tuzilishi va ishlash prinsipi bilan tanishamiz.

Siklotron zaryadlangan zarralar (elektronlar, protonlar, alfa zarralar va boshqa zarralar) harakatini katta (yorug'lik tezligiga yaqin) tezliklargacha tezlatish uchun xizmat qiluvchi qurilma. Bunday zarralardan atom yadrolarini o'rganish, radioaktiv izotoplar olish va shunga o'xshash maqsadlarda foydalaniladi.

Siklotronning ishlash prinsipini tushunish uchun bir jinsli \vec{B} magnit maydonida q zaryadli zarraning harakatini ko'rib chiqamiz. Bu maydonning \vec{B} induksiya vektori zarraning boshlang'ich tezligiga tik yo'nalgan bo'lsin (174- rasm). Magnit maydon tomonidan ta'sir etuvchi Lorens kuchi zarra tezligining modulini o'zgartirmaydi, chunki Lorens kuchi bu tezlikka tik yo'nalganligidan ish bajar olmaydi, shuning uchun zarraning kinetik energiyasi o'zgarmaydi. Lorens kuchining kattaligi zarraning tezligiga va magnit maydonning induksiyasiga bog'liq (140-formulaga q.). Bu ikkala kattalik o'zgarmas bo'lganligi uchun Lorens kuchining



174- rasm.

moduli ham o'zgarmaydi. Shu sababli zarra Lorens kuchi ta'sirida kattaligi jihatdan o'zgarmas bo'lgan

$$a_n = \frac{F_{\perp}}{m} = \frac{q}{m} v B \quad (146)$$

normal tezlanishga ega bo'ladi, bunda m — zarraning massasi. O'zgarmas normal tezlanish bilan bo'ladigan harakat aylana bo'ylab tekis harakatdan iboratdir. U vaqtda zarra harakatlanayotgan aylananing radiusi

$$a_n = \frac{v^2}{R}$$

formuladan topiladi. Bu ifodaga tezlanishning qiymatini (146) formuladan keltirib qo'yib, hosil bo'lgan tenglamani R ga nisbatan yechsak,

$$R = \frac{m}{q} \cdot \frac{v}{B} \quad (147)$$

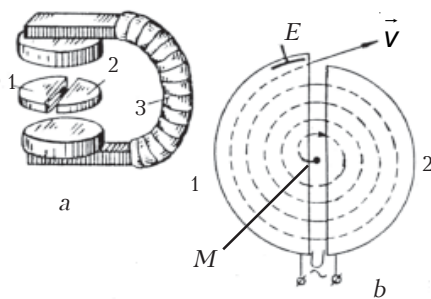
ni olamiz. Shunday qilib, \vec{v} vektor \vec{B} vektorga perpendikular bo'lgan holda zaryadlangan zarra aylana bo'ylab harakat qiladi. Bunday aylananing radiusi zarraning tezligiga va magnit maydon induksiyasiga bog'liq bo'ladi.

Zarraning bir marta aylanishi uchun ketgan vaqtni topaylik. Buning uchun $2\pi R$ aylana uzunligini zarraning v tezligiga bo'lamiz. Natijada quyidagini olamiz:

$$T = 2\pi \frac{m}{qB}. \quad (148)$$

Zarraning aylana bo'ylab aylanish davri uning tezligiga bog'liq bo'lmay, faqat zarraning solishtirma zaryadi va maydonning magnit induksiyasi orqali aniqlanar ekan. Bu hol zaryadli zarralarni bir qancha sikl davomida uncha katta bo'lmagan elektr maydon bilan tezlashtiradigan qurilma — siklotron yasashga imkon beradi. Siklotronning prinsipial sxemasi 175- a rasmda tasvirlangan. Bu qurilmaning asosini duantlar deb ataluvchi, yarim doira shakliga ega bo'lgan ikkita — 1 va 2 metall quticha ko'rinishidagi elektrod tashkil etadi. Duantlar havosi so'rib olingan kamera ichiga o'rnatilgan katta elektromagnit qutblari orasiga joylashgan bo'ladi. Elektromagnit hosil qilgan maydon bir jinsli va duantlar tekisligiga perpendikularidir. Kameraning markazida duantlar orasida zaryadli

zarralar manbai M (175- b rasmga q.) o'rnatilgan bo'ladi. Duantlarga yuqori chastotali o'zgaruvchan kuchlanish beriladi va bu kuchlanish duantlar orasidagi bo'shliqda xuddi shunday chastotali o'zgaruvchan elektr maydonni vujudga keltirib, zarralarni tezlashtiradi. Tezlashtirilgan



175- rasm.

zarralarning ishorasi musbat bo'lsa, ular manfiy potentsialli duantning ichiga uchib kiradi, bu joyda elektr maydon deyarli yo'q. Zaryadli zarralar magnit maydon ta'sirida aylana bo'ylab harakatlanib, yarim aylanani bosib o'tgandan keyin yana duantlar orasidagi bo'shliqqa kiradi. Duantlar orasidagi kuchlanishning o'zgarish chastotasi shunday tanlanadiki, zarra yarim aylanani o'tib, duantlar orasidagi bo'shliqqa kelgan vaqtda ular orasidagi potentsiallar farqi ishorasini o'zgartiradi. Bunda zarra yangidan tezlatilgan bo'ladi va birinchi duantda harakatlanganiga qaraganda kattaroq energiya bilan ikkinchi duantning ichiga uchib kiradi. Katta tezlikka ega bo'lgan zarra ikkinchi duantda katta radiusli aylana bo'ylab harakatlanadi, biroq uning yarim aylanani o'tish vaqti aslicha qolaveradi [(148) formulaga q.] Zarra duantlar orasiga kirgan vaqtda ular orasidagi kuchlanish o'z ishorasini yana o'zgartiradi.

Shunday qilib, agar kuchlanishning o'zgarish chastotasini zarraning (148) formula bilan aniqlanadigan aylanish davriga moslashtirilsa, u holda zarra har gal duantlar orasidan o'tganda qU ga teng bo'lgan qo'shimcha energiya porsiyasini olib, spiralga yaqin egri chiziq bo'ylab harakatlanadi (U — generator ishlab chiqargan kuchlanish). Natijada zarra duantlarning chetiga juda katta tezlikda yetib keladi va undan E og'diruvchi elektrod ta'sirida juda katta kinetik energiya bilan chiqadi. Masalan, proton siklotronida 25 MeV energiyagacha tezlatilishi mumkin.



Takrorlash uchun savollar

1. Amper qonuni nima haqida? Amper kuchi formulasini yozing va izohlang. Shu formuladan foydalanib, kuch birligini keltirib chiqaring.
2. Chap qo'l qoidasi nimani aniqlash uchun va qanday qo'llaniladi?
3. Tokli o'tkazgichni magnit maydonda ko'chirishda qanday ish bajariladi?

4. Tokli konturni magnit maydonda ko'chirishda bajarilgan ish formulasini yozing va tushuntiring. 5. Bir jinsli magnit maydon tokli ramkaga qanday ta'sir ko'rsatadi? Ramkaning magnit momenti qanday ifodalanadi va birligi qanday? 6. Parallel toklar o'zaro qanday ta'sirlashadi va ularning ta'sir kuchi qanday ifodalanadi? Keltirib chiqaring. 7. Tok kuchining birligi — amperga ta'rif bering. 8. Elektr o'lchov asboblari qanday sistemalarga ajratiladi? 9. Magnitoelektrik sistemaga mansub galvanometrning tuzilishini va ishlash prinsipini tushuntiring. Uni voltmotr sifatida ishlatish mumkinmi? Ampermetr sifatida-chi? 10. Lorens kuchi qanday kattalik? Formulasini keltirib chiqaring. 11. Xoll effekti qanday hodisa? Klassik elektron nazariyaga ko'ra, bu hodisa qanday tushuntiriladi? 12. Harakatlanayotgan zaryadli zarraning elektr maydonda og'ishini tushuntiring. Og'ish burchagi qanday formula yordamida aniqlanadi? 13. Harakatlanayotgan zaryadli zarraning magnit maydonda og'ishini tushuntiring. Og'ish burchagi nimalarga bog'liq? 14. Mass-spektrograf qanday asbob? Mass-spektrometr-chi? 15. Siklotron qanday qurilma? Uning tuzilishini va ishlash prinsipini tushuntiring.

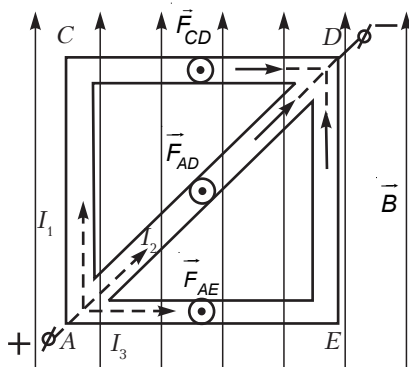


MASALA YECHISH NAMUNALARI

1-masala. Ko'ndalang kesimi 1 mm^2 bo'lgan mis simdan kvadrat shaklida kontur yasab, uning diagonali 110 V kuchlanishli o'zgarmas tok manbayiga ulangan (176- rasm). Kontur tekisligi induksiyasi $17 \cdot 10^{-4} \text{ T}$ bo'lgan bir jinsli magnit maydon kuch chiziqlariga nisbatan parallel joylashgan. Konturga ta'sir etuvchi kuchning kattaligi va yo'nalishi aniqlansin.

$$\text{Berilgan: } S = 1 \text{ mm}^2 = 10^{-6} \text{ m}^2; U = 110 \text{ V}; B = 17 \cdot 10^{-4} \text{ T}; \\ \rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}.$$

$F - ?$



176- rasm.

Yechilishi. Tokli konturga magnit maydon tomonidan ko'rsatiladigan ta'sir kuchi uning har bir qismlariga ta'sir etayotgan kuchlarning yig'indisiga teng bo'ladi. Konturning AC va DE qismlari magnit maydon yo'nalishi bo'yicha joylashgan, shuning uchun bu qismlarga magnit maydon tomonidan kuch ta'sir etmaydi. Konturning CD va AE qismlariga ta'sir etuvchi kuchlar esa o'zaro teng va Amper qonuniga muvofiq

$$F_1 = F_{CD} = F_{AE} = BI_1l$$

ga teng bo'ladi, bunda: $\sin \alpha = \sin 90^\circ = 1$, I_1 — qismlardagi tok kuchi, l — qismning uzunligi. Konturning bu qismlaridan o'tayotgan tok kuchini zanjirning bir qismiga oid Om qonunidan foydalanib topamiz:

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{US}{2\rho l},$$

bunda $R_1 = \rho \frac{2l}{S}$ — konturning ACD yoki AED qismining qarshiligi.

Demak,

$$F_1 = \frac{BUS}{2\rho}$$

bo'ladi. Endi konturning AD diagonaliga ta'sir etayotgan kuchni topamiz. Diagonalning uzunligi $\sqrt{l^2 + l^2} = l\sqrt{2}$ ga teng va tok yo'nalishi bilan \vec{B} vektor orasidagi burchak $\alpha = 45^\circ$ ni tashkil etadi, shuning uchun bu qismga ta'sir etayotgan kuch quyidagiga teng bo'ladi:

$$F_2 = \sqrt{2}BI_2l \sin 45^\circ,$$

bunda I_2 — diagonaldan o'tayotgan tok kuchi, uning qiymati Om qonuniga muvofiq quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{US}{\sqrt{2}\rho l},$$

bunda R_2 — konturning AD qismining qarshiligi. Demak, AD qismga ta'sir etuvchi kuch:

$$F_2 = \sqrt{2}B \cdot \frac{US}{\sqrt{2}\rho l} l \sin 45^\circ = \frac{BUS}{\rho} \sin 45^\circ.$$

Shakldan ko'rinib turibdiki, konturning CD , AD va AE qismlariga ta'sir etayotgan kuch shu qismlarning o'rtasiga qo'yilgan va chizma tekisligidan kitobxonga tomon yo'nalgan. Shuning uchun konturga ta'sir etuvchi natijaviy kuch ham chizma tekisligidan kitobxonga tomon yo'nalgan bo'lib, uning kattaligi

$$\vec{F}_A = 2\vec{F}_1 + \vec{F}_2 \quad \text{yoki} \quad F_A = 2F_1 + F_2$$

yig'indi bilan aniqlanadi. Bu yig'indiga F_1 va F_2 kuchlarning ifodasini keltirib qo'ysak, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$F_A = \frac{BUS}{\rho} (1 + \sin 45^\circ).$$

$$\text{Hisoblash: } F_A = \frac{17 \cdot 10^{-4} \cdot 110 \cdot 10^{-6} \text{ T} \cdot \text{V} \cdot \text{m}^2}{1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}} (1 + 0,707) = 18,7 \text{ N}.$$

2- masala. Induksiyasi $0,5 \frac{\text{Wb}}{\text{m}^2}$ bo'lgan bir jinsli magnit maydonda 10 sm uzunlikdagi o'tkazgich tekis harakat qilmoqda, undan oqayotgan tok kuchi 2 A ga teng. O'tkazgich magnit maydonga perpendikular yo'nalishda $2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ tezlik bilan harakatlanmoqda. O'tkazgichning 10 s davomida siljishi uchun bajarilgan ish va bunday siljish uchun sarflangan quvvatni aniqlang.

$$\text{Berilgan: } B = 0,5 \frac{\text{Wb}}{\text{m}^2}; \quad l = 10 \text{ sm} = 0,1 \text{ m}, \quad I = 2 \text{ A};$$

$$v = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}; \quad \alpha = 0^\circ; \quad \Delta t = 10 \text{ s}.$$

$$\Delta A - ?, \quad P - ?$$

Yechilishi. Masalaning shartiga asoslanib, 177- rasmni chizamiz. O'tkazgich magnit maydoni ta'sirida Δt vaqt davomida Δx masofaga siljigan bo'lsin. U holda bajarilgan ish

$$\Delta A = I \cdot \Delta \Phi$$

bo'ladi, bu yerda $\Delta \Phi$ — $abcd$ yuzadan o'tuvchi magnit induksiya oqimi. $\Delta \Phi = B \cdot \Delta S \cdot \cos \alpha$ va $\Delta S = l \cdot \Delta x = lv \Delta t$ ekanligini nazarga olsak,

$$\Delta A = IBlv \Delta t \cdot \cos \alpha$$

bo'ladi va sarflangan quvvat quyidagi

$$N = \frac{\Delta A}{\Delta t} = IBlv \cdot \cos \alpha$$

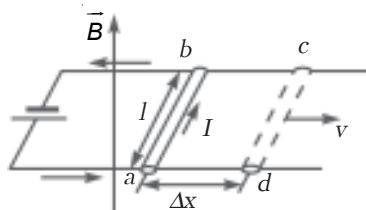
ifoda orqali topiladi.

$$\text{Hisoblash: } \Delta A = 2 \text{ A} \cdot 0,5 \frac{\text{Wb}}{\text{m}^2} \cdot 0,1 \text{ m} \cdot 2 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 10 \text{ s} \cdot \cos 0^\circ = 0,2 \text{ J},$$

$$N = 2 \text{ A} \cdot 0,5 \frac{\text{Wb}}{\text{m}^2} \cdot 0,1 \text{ m} \cdot 2 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \cos 0^\circ =$$

$$= 0,02 \text{ W}.$$

3- masala. O'zaro parallel bo'lgan ikkita uzun o'tkazgich shu o'tkazgichlarga parallel joylashgan umumiy o'qqa iplar orqali osilgan. Iplarning uzunligi 4 sm. O'tkaz-



177- rasm.

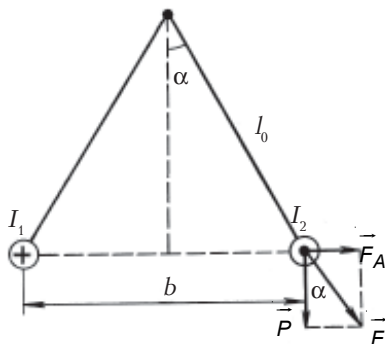
gichlarning har bir metr uzunligi-ning massasi 50 g. O‘tkazgichlardan qarama-qarshi yo‘nalishda bir xil tok o‘tganda iplar bilan o‘q orqali o‘tuvchi vertikal orasidagi burchak 30° ga teng bo‘lsa, tok kuchi qancha bo‘ladi?

Berilgan : $l_0 = 4 \text{ sm} = 4 \cdot 10^{-2} \text{ m}$;

$$\frac{m}{l} = 50 \frac{\text{g}}{\text{m}} = 5 \cdot 10^{-2} \frac{\text{kg}}{\text{m}};$$

$$\alpha = 30^\circ; \quad I_1 = I_2 = I.$$

$I - ?$



178- rasm.

Yechilishi. Masalaning shartiga binoan chizmasini chizamiz (178-rasm). Faraz qilaylik, I_1 tok chizma tekisligiga perpendikular yo‘nalishda kitobxonga tomon, I_2 tok esa kitobxondan chizma tekisligiga perpendikular yo‘nalishda oqayotgan bo‘lsin. O‘tkazgichlardagi toklarning yo‘nalishi qarama-qarshi bo‘lgani uchun ular bir-biridan itariladi. O‘tkazgichga ta’sir etuvchi Amper kuchi

$$F_A = \mu_0 \frac{I_1 \cdot I_2}{2\pi b} l = \mu_0 \frac{I^2 l}{2\pi b}$$

ga teng bo‘ladi, bunda: l — o‘tkazgichning uzunligi, b — o‘tkazgichlar orasidagi masofa. Shakldan

$$b = 2l_0 \sin \alpha \quad \text{va} \quad F_A = P \cdot \text{tg} \alpha,$$

bunda P — o‘tkazgichning og‘irlik kuchi. Demak,

$$P \text{ tg} \alpha = \mu_0 \frac{I^2 l}{2\pi b} \quad \text{yoki} \quad mg \text{ tg} \alpha = \mu_0 \frac{I^2 l}{4\pi l_0 \sin \alpha}.$$

Bundan

$$I = \sqrt{\frac{4\pi g l_0 \sin \alpha \cdot \text{tg} \alpha \cdot m}{\mu_0} \cdot \frac{m}{l}}.$$

$$\text{Hisoblash: } I = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,14 \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 4 \cdot 10^{-2} \text{ m} \cdot 0,5 \cdot 0,5772}{4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \frac{\text{N}}{\text{A}^2}} \cdot 5 \cdot 10^{-2} \frac{\text{kg}}{\text{m}}} = 7,6 \text{ A}.$$

4- masala. 1000 V tezashtiruvchi potentsiallar farqini o'tgan elektron bir jinsli magnit maydonga induksiya kuch chiziqlariga perpendikular yo'nalishda uchib kiradi. Agar magnit induksiya vektori 10^{-3} T ga teng bo'lsa, elektron harakatlanayotgan aylananing radiusi qanday bo'ladi?

Berilgan: $U = 1000\text{V}; \quad B = 10^{-3}\text{T}; \quad e = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{C};$

$m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg.}$

$R - ?$

Yechilishi. Magnit maydon harakatlanayotgan zaryadli zarraga Lorens kuchi bilan ta'sir etadi. Agar elektronning harakat yo'nalishi induksiya chiziqlariga tik bo'lsa, unga ta'sir etayotgan Lorens kuchi

$$F_L = evB$$

bo'ladi, bunda v – elektronning tezligi. Bu kuch ta'sirida elektron magnit maydonda aylana bo'ylab harakat qiladi, binobarin, bu kuch markazga intilma kuchga teng bo'ladi. Shuning uchun

$$evB = \frac{mv^2}{R}$$

deb yozish mumkin, bunda: m – elektronning massasi, R – aylananing radiusi. Bu tenglamadan R ni topamiz:

$$R = \frac{mv}{eB}.$$

Energiyaning saqlanish qonuniga asosan, tezashtiruvchi maydonning elektronni ko'chirishda bajargan ishi uning kinetik energiyasiga tengligidan foydalanib, elektronning v tezligini topamiz:

$$eU = \frac{mv^2}{2}, \quad \text{bundan} \quad v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}.$$

Buni e'tiborga olib, aylananing radiusi uchun quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$R = \frac{m}{eB} \sqrt{\frac{2eU}{m}} = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2mU}{e}}.$$

$$\text{Hisoblash: } R = \frac{1}{10^{-3}\text{T}} \sqrt{\frac{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot 10^3 \text{ V}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}}} = \frac{1}{10} \sqrt{\frac{9,1}{8}} \text{ m} \cong 0,1 \text{ m.}$$

5- masala. Aluminiyning har bir atomiga 2 tadan erkin elektron to'g'ri keladi, deb hisoblab, induksiyasi 0,6 T bo'lgan bir jinsli magnit maydonga joylashtirilgan aluminiy plastinkaning eni bo'ylab hosil bo'lgan

potensiallar farqini toping. Plastinkaning qalinligi 10 sm, plastinkadagi tok zichligi $5 \frac{\text{MA}}{\text{m}^2}$. Magnit maydoni induksiyasining vektori plastinka tekisligiga perpendikular joylashgan.

$$\text{Berilgan: } Z = 2; \quad d = 2,6 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}; \quad \mu_a = 27 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}; \quad B = 0,6 \text{ T};$$

$$b = 10 \text{ sm} = 0,1\text{m}; \quad i = 5 \frac{\text{MA}}{\text{m}^2} = 5 \cdot 10^6 \frac{\text{A}}{\text{m}^2}.$$

$$\Delta\varphi - ?$$

Yechilishi. I tok o'tayotgan aluminiy plastinkani uning tekisligiga perpendikular yo'nalgan B induksiyali bir jinsli magnit maydoniga joylashtirilganda plastinkaning h eni bo'ylab hosil bo'lgan $\Delta\varphi$ potensiallar farqi, Xoll effektiga ko'ra,

$$\Delta\varphi = R_H \frac{IB}{h} \quad (\text{a})$$

bo'ladi, bu yerda: R_H – Xoll doimiysi (179- rasm). Bizga ma'lumki,

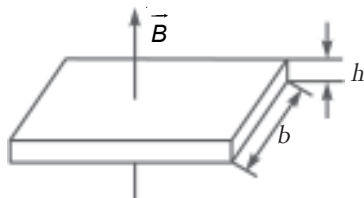
$$R_H = \frac{1}{ne} \quad (\text{b}), \quad I = iS = ihb \quad (\text{d}) \quad \text{va} \quad n = Z \frac{d}{m_a} = Z \frac{d}{\mu_a} \cdot N_A, \quad (\text{e})$$

bu yerda: n – elektronlarning konsentratsiyasi, b – plastinkaning qalinligi, i – tok zichligi, Z – aluminiyning valentligi, d – aluminiyning zichligi, μ_a – aluminiyning atom massasi va N_A – Avogadro soni. (b), (d) va (e) ifodalarni (a) ga keltirib qo'ysak, u holda potensiallar ayirmasi

$$\Delta\varphi = \frac{\mu_a}{ZdN_A e} \cdot \frac{ihBb}{h} = \frac{\mu_a ibB}{eZdN_A}.$$

$$\text{Hisoblash: } \Delta\varphi = \frac{27 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \cdot 5 \cdot 10^6 \frac{\text{A}}{\text{m}^2} \cdot 0,1\text{m} \cdot 0,6\text{T}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{C} \cdot 2 \cdot 2,6 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 6,02 \cdot 10^{26} \frac{1}{\text{kmol}}} = 16 \cdot 10^{-6} \text{V}.$$

6- masala. O'zaro perpendikular bo'lgan elektr va magnit maydonlarga uchib kirib hech qanday og'ishsiz harakat qiladigan α - zarrachaning tezligini toping. Magnit maydon induksiyasi 6,0 mT, elektr maydon kuchlan-



179- rasm.

ganligi $6 \frac{\text{kV}}{\text{m}}$. α - zarrachaning tezligi yo'nalishi B va E larga perpendikular bo'lgan.

$$\text{Berilgan: } B = 6,0 \text{ mT} = 6,0 \cdot 10^{-3} \text{ T}; \quad E = 6 \frac{\text{kV}}{\text{m}} = 6 \cdot 10^3 \frac{\text{V}}{\text{m}}; \quad \varphi = 90^\circ.$$

v —?

Yechilishi. α - zarrachaga elektr maydon tomonidan $F_e = qE$, magnit maydon tomonidan $F_L = qvB \sin\varphi$ kuchlar ta'sir qiladi (180- a rasm). Agar bu kuchlar bir-biri bilan muvozanatlashsa, u holda α - zarracha ikkala maydondan og'masdan v tezlik bilan harakatlanadi. Demak,

$$F_e = F_L \quad \text{yoki} \quad qE = qvB \sin\varphi.$$

Bundan α - zarrachaning harakat tezligi quyidagiga teng bo'ladi:

$$v = \frac{E}{B \cdot \sin\varphi}$$

$$\text{Hisoblash: } v = \frac{6 \cdot 10^3 \frac{\text{V}}{\text{m}}}{6 \cdot 10^{-3} \text{ T} \cdot \sin 90^\circ} = 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$



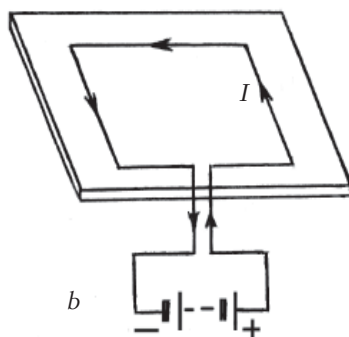
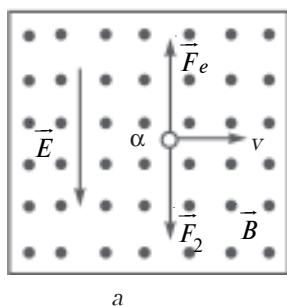
MUSTAQIL YECHISH UCHUN MASALALAR

98. Spiralsimon sim orqali tok o'tkazilganda uning o'ramlari bir-biriga tortiladi va spiral o'z o'qi bo'yicha qisiladi. Bu hodisani qanday tushuntirish mumkin?

99. Gorizontaal tekislikda yotgan o'ramga nisbatan bir jinsli magnit maydon yuqoridan pastga tomon yo'nalgan (180- b rasm). Agar o'ramdan rasmda ko'rsatilgan yo'nalishda I tok o'tayotgan bo'lsa, unga ta'sir etuvchi kuch qanday yo'nalgan bo'ladi? Tokning yo'nalishi teskariga o'zgartirilganda-chi? Agar o'ram egiluvchi simdan yasalgan bo'lsa, u tokning a) birinchi va b) ikkinchi yo'nalishlarida qanday shaklni oladi?

100. 180- d rasmda tasvirlangan prujinaga tok uning qo'zg'almas yuqori A uchi va K kosachadagi simobga botirilgan pastki B uchi orqali keltiriladi. Tok ulanganda prujina davriy ravishda qisiladi va cho'ziladi, shu bilan birga uning pastki B uchi simobdan goh chiqadi, goh unga botadi. Bu tajribani qanday tushuntirish mumkin?

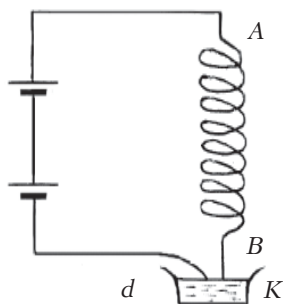
101. Induksiyasi $2 \cdot 10^{-2} \text{ T}$ bo'lgan magnit maydonga perpendikular yo'nalishda $0,5 \text{ m}$ uzunlikdagi tokli o'tkazgich joylashtirilgan. Agar magnit



180- rasm.

maydon tokli o'tkazgichga 0,15 N kuch bilan ta'sir etayotgan bo'lsa, undan oqayotgan tok kuchini toping.

102. Bir jinsli magnit maydonga joylashtirilgan 0,4 m uzunlikdagi to'g'ri tokli o'tkazgichga $9 \cdot 10^{-2}$ N kuch ta'sir qiladi. Agar o'tkazgichdagi tok kuchi 10 A, maydon induksiyasi $7,6 \cdot 10^{-2}$ T bo'lsa, tok va magnit maydon induksiya vektori yo'nalishi orasidagi burchakni aniqlang.



103. Uzunligi 20 sm bo'lgan to'g'ri o'tkazgich induksiyasi 0,1 T bo'lgan bir jinsli magnit maydonda $5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ tezlik bilan ko'chirildi. Agar o'tkazgich harakati yo'nalishi bilan magnit kuch chiziqlari yo'nalishi orasidagi burchak 90° , o'tkazgichdagi tok kuchi 50 A bo'lsa, magnit kuchining quvvati qancha bo'ladi?

104. Bir-biridan 10 sm masofada gorizontal joylashgan ikki parallel shina ustida massasi 100 g bo'lgan yo'g'on o'tkazgich yotibdi. Shinalar tok manbayiga ulanganda o'tkazgich orqali 10 A tok o'tadi. Induksiyasining vektori shinalar tekisligiga perpendikular yo'nalgan magnit maydon hosil bo'lganda o'tkazgich tekis harakat qila boshlaydi. Agar o'tkazgichning shinalarga ishqalanish koeffitsiyenti 0,2 bo'lsa, magnit maydon induksiyasini toping.

105. Ikki simli uzatish liniyasidan 5 A tok o'tadi. Simlar orasidagi masofa 40 sm bo'lsa, har bir simning uzunlik birligiga ta'sir etayotgan kuchni toping.

106. Uzunligi 5 m bo'lgan ikki simli liniyaning ikkita parallel simlaridagi tok kuchi 500 A. Toklar qarama-qarshi yo'nalgan. Simlar orasidagi masofa 25 sm bo'lsa, ular o'zaro qanday kuch bilan ta'sirlashadi?

107. Zaryadli zarra $10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ tezlik bilan magnit maydonda aylana bo'ylab harakatlanadi. Magnit maydonning induksiyasi 0,3 T, aylananing radiusi 4 sm. Zarraning kinetik energiyasi 12 keV ga teng bo'lishi uchun uning zaryadi qanday bo'lishi kerak?

108. Magnit induksiya chiziqlariga perpendikular ravishda elektron bir jinsli magnit maydonga uchib kiradi. Elektronning tezligi $4 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Magnit maydon induksiyasi 10^{-3} T. Elektronning markazga intilma tezlanishini toping.

109. 300 V potentsiallar farqi bilan tezlashtirilgan elektron to'g'ri o'tkazgichdan 4 mm narida o'tkazgichga parallel ravishda harakatlanadi. Agar o'tkazgichdagi tok kuchi 5 A ga teng bo'lsa, elektronga qanday kuch ta'sir qiladi?

110. Qalinligi 0,1 mm bo'lgan yupqa mis tasma uning tekisligi maydon kuch chiziqlariga perpendikular bo'ladigan holda induksiyasi 0,9 T bo'lgan bir jinsli magnit maydonga joylashtirildi. Tasmadagi tok kuchi 10 A. Misning har bir atomiga bittadan erkin elektron to'g'ri keladi deb hisoblab, tasmaning eni bo'ylab hosil bo'lgan potentsiallar farqini toping.

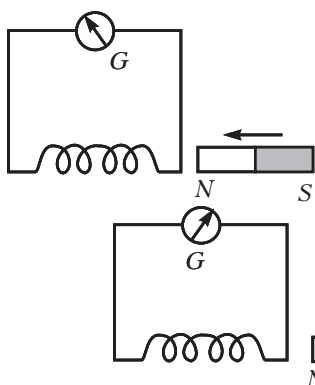
111. Magnit induksiyasi 1 T bo'lgan siklotronda protonlar 5 MeV energiyaga ega bo'lishi uchun ular qanday radiusli orbita bo'yicha harakatlanishi kerak?

V bob. ELEKTROMAGNIT INDUKSIYA

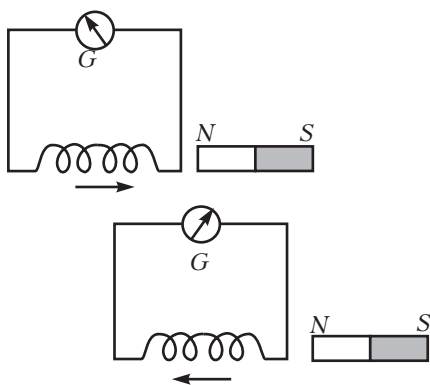
88- §. Elektromagnit induksiya hodisasi

Daniyalik olim G. Ersted 1820- yilda tokning magnit ta'sirini aniqlagandan so'ng ingliz fizigi M. F a r a d e y bu kashfiyot bilan tanishgach, shunday xulosaga keladi: modomiki, berk o'tkazgich bo'ylab oqayotgan tok magnitni harakatga keltirar ekan, magnitning harakatlanishi ham berk o'tkazgichda tok hosil qilishi kerak. Bu xulosaning to'g'riligini Faradey 1831- yilda ko'p tajribalar asosida tasdiqlaydi. U magnit maydonda berk kontur ilgarilanma harakat qilganda yoki burilganda, shuningdek, qo'zg'almas kontur ma'lum vaqt davomida o'zgaruvchan magnit maydonda turganida konturlarda tok hosil bo'lishini aniqladi.

Magnit maydonning o'zgarishi tufayli berk konturda hosil bo'ladigan tok i n d u k s i o n t o k , hodisaning o'zi esa e l e k t r o -



181- rasm.



182- rasm.

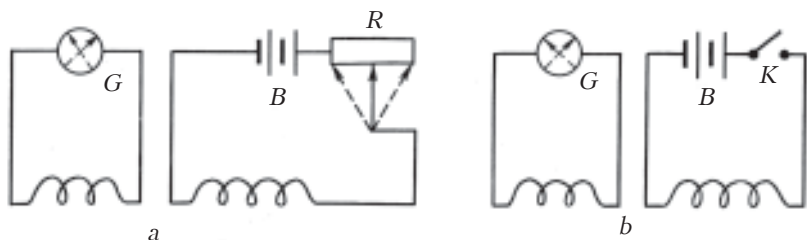
magnit induksiya deb ataladi. Induksion tokni hosil qiluvchi elektr yurituvchi kuch induksion elektr yurituvchi kuch (IEYK) deb yuritiladi.

Faradeyning induksion tok hosil bo'lishining shartlarini aniqlashga doir tajribalarini ko'rib chiqamiz.

1. Agar magnit kontur ichiga kiritilsa yoki konturdan chiqarilsa, berk konturda tok induksiyalanadi; magnit g'altakka yaqinlashtirilganda galvanometr strelkasi bir tomonga og'adi (g'altak ichidagi magnit oqimi orta boradi), magnitni g'altakdan uzoqlashtirilganda esa (magnit oqimi kamayib boradi) strelka boshqa tomonga og'adi, ya'ni magnit induksiya oqimining ortishi yoki kamayishi bilan induksion tokning yo'nalishi o'zgaradi (181- rasm). Demak, *magnit induksiya oqimining o'zgarishi natijasida induksion tok hosil bo'lar ekan.*

Magnit qancha kuchli, uning harakati qancha tez va g'altakdagi sim o'ramlari soni qancha ko'p bo'lsa, induksion tok kuchi ham shuncha katta bo'ladi. Agar magnitni berk g'altak yaqiniga yoki hatto g'altak ichiga joylashtirsak, magnit qo'zg'almasganda induksion tok hosil bo'lmaydi. Bundan, *berk konturda induksion tok hosil qilish uchun birgina magnit maydonning bo'lishi yetarli bo'lmay, balki magnit harakatlanishi, ya'ni magnit maydon o'zgarishi kerak,* degan xulosa kelib chiqadi.

2. Uchlari galvanometrqa ulangan g'altakni qo'zg'almas magnitga yaqinlashtirganimizda yoki undan uzoqlashtirganimizda ham g'altakda induksion tok hosil bo'ladi (182- rasm). Bu holda ham g'altakni kesib o'tayotgan magnit induksiya oqimi o'zgaradi, chunki g'altak magnitning qutbiga yaqinlashganda g'altakni kesib o'tayotgan



183- rasm.

magnit induksiya oqimi o'zgaradi, chunki g'altak magnitning qutbiga yaqinlashganda g'altakni kesib o'tuvchi magnit induksiya kuch chiziqlari ortadi, g'altak uzoqlashganda uning konturini kesib o'tuvchi induksiya chiziqlari kamayadi.

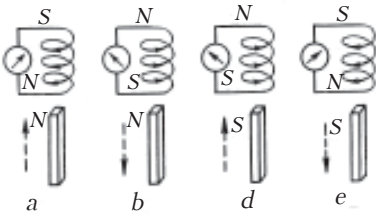
3. Ikki g'altakni yonma-yon qo'yib, birinchi g'altakning uchlarini galvanometrغا, ikkinchi g'altakning uchlarini tok manbayiga ulaylik. Ikkinchi g'altakdagi tok kuchini reostat bilan o'zgartirib (183- a rasm) yoki kalit yordamida zanjirga ulab-uzib turilsa (183- b rasm), birinchi g'altakda induksion tok hosil bo'lganini ko'rish mumkin. Bu ikkala holda ham birinchi g'altakni kesib o'tuvchi magnit induksiya oqimi o'zgaradi, chunki ikkinchi g'altak zanjirida tok o'zgaradi.

Shunga o'xshash tajribalar yordamida Faradey elektromagnit induksiya qonunini kashf qildi. Bu qonun quyidagicha ta'riflanadi: *induksion tok berk konturda faqat o'tkazgich konturi orqali o'tayotgan magnit induksiya oqimi o'zgargandagina hosil bo'ladi, ya'ni magnit oqim o'zgarib turgan vaqt davomidagina mavjud bo'ladi.*

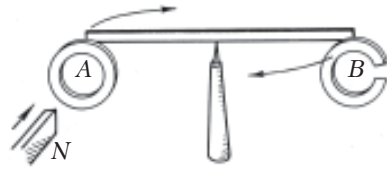
89- §. Induksion tokning yo'nalishi. Induksion EYKning kattaligi

Magnitni berk g'altakka yaqinlashtirish yoki undan uzoqlashtirish bilan g'altakda induksion tok hosil qilib va g'altak zanjiridagi galvanometr strelkasi yordamida bu tokning yo'nalishini aniqlab, so'ngra parma qoidasini magnit maydon yo'nalishini aniqlashga tatbiq etish orqali g'altakning magnit qutblarini aniqlash mumkin.

Shu maqsadda 1833—1834- yillarda rus olimi E.X. L e n s ko'p tajribalar o'tkazgan. U tajribalar asosida magnit qutbini g'altakka yaqinlashtirganda g'altakning magnitga yaqin uchida shu qutb bilan bir xil qutb hosil bo'lishini (184- a, d rasmlar), magnitning qutbini g'altakdan uzoqlashtirganda esa g'altakning magnitga yaqin uchida boshqa ismli (qarama-qarshi) qutb hosil



184- rasm.



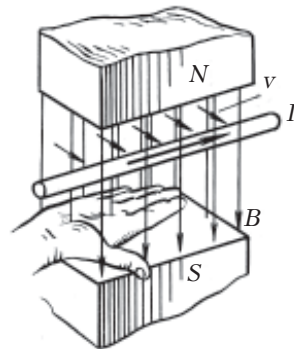
185- rasm.

bo'lishini aniqladi (184- b, e rasmlar). Bundan induksion tokning magnit maydoni magnitning harakatiga qarshilik qilishi ko'rinadi.

Tajribalar natijalarini umumlashtirib, Lens induksion tok yo'nalishini aniqlash qonunini topdi. Bu qonun uning sharafiga Lens qonuni deb atalib, quyidagicha ta'riflanadi: *har doim induksion tokning magnit maydoni tokning o'zini yuzaga keltirgan magnit induksiya oqimining o'zgarishiga qarshi ta'sir ko'rsatadi.* 185- rasmda Lens qonunini tasdiqlovchi tajribani namoyish qiladigan asbob ko'rsatilgan. Vertikal o'q atrofida erkin aylana oladigan qilib o'rnatilgan sterjenning bir uchiga yaxlit, ikkinchi uchiga uchlari tutashmagan aluminiy halqa o'rnatilgan. Yaxlit halqaga magnit yaqinlashtirilganda yoki uzoqlashtirilganda halqadagi erkin elektronlar tashqi magnit maydon ta'sirida tartibli harakatga kelib, berk konturdan o'tayotgan tok kabi induksion tok hosil qiladi. Bu tokning magnit maydoni uni hosil qilayotgan magnitning maydoniga qarshi ta'sir ko'rsatadi va natijada sistema harakatga keladi.

Magnitning uchlari tutashmagan halqaga yaqinlashtirilganda esa sistema harakatlanmaydi, chunki halqadagi erkin elektronlar harakatda bo'lgani bilan, ochiq konturdan tok o'tmagani kabi, tok hosil bo'lmaydi.

O'tkazgichda hosil bo'lgan induksion tokning yo'nalishi o'ng qo'l qoidasidan foydalanib aniqlanadi. Agar o'ng qo'limizni magnit maydonda magnit induksiya vektori kaftimizga kiradigan qilib, 90° ga kerilgan bosh barmog'imizni esa o'tkazgichning harakat yo'nalishini ko'rsatadigan qilib tutsak, u holda yozilgan to'rtta barmog'imiz induksion tokning yo'nalishini ko'rsatadi (186- rasm).



186- rasm.

Induksion tok faqat berk o'tkazgichdagina bo'lishi va o'tkazgichning qarshiligiga qarab katta yoki kichik bo'lishi mumkin. Induksion EYK berk bo'lmagan o'tkazgichda ham yuzaga keladi, bunda uning qiymati o'tkazgichning qarshiligiga bog'liq bo'lmaydi. Shuning uchun elektromagnit induksiya hodisasini o'rganishda induksion EYK katta ahamiyatga ega bo'lib, quyidagicha ta'riflanadi: *o'tkazgich konturidan o'tayotgan magnit induksiya oqimining har qanday o'zgarishida bu konturda induksion EYK vujudga keladi.*

Agar juda kichik Δt vaqt ichida magnit induksiya oqimi $\Delta\Phi$ miqdorga o'zgarsa, u holda magnit induksiya oqimining o'zgarish tezligi $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ ga teng bo'ladi. Elektromagnit induksiya qonuniga asosan, induksion EYK ning kattaligi $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ ga proporsionaldir:

$$I_i = -k \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}. \quad (149)$$

Bu formulada k – proporsionallik koeffitsiyenti bo'lib, uning son qiymati (149) tenglikka kirgan barcha kattaliklarning qanday birliklarda o'lchanishiga bog'liq. Formuladagi minus ishorasi o'tkazgich konturidan o'tayotgan magnit oqimi ortganda $\left(\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} > 0\right)$ induksion EYK manfiy bo'lishini ko'rsatadi, ya'ni u magnit oqimiga qarshilik ko'rsatadigan induksion tok hosil qiladi. Magnit oqimi kamayganda $\left(\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} < 0\right)$ EYK musbat va induksion tok kamayib borayotgan magnit oqimini saqlab turishga harakat qiladi.

SI da I_i volt bilan, $\Delta\Phi$ veber bilan, Δt sekund bilan ifodalanadi va proporsionallik koeffitsiyenti $k = 1$ bo'ladi, u holda (149) formulaga muvofiq

$$1V = \frac{1Wb}{1s}$$

ga ega bo'lamiz.

Bundan, magnit induksiya oqimining birligi veberni quyidagicha ta'riflash mumkin: *agar berk kontur bilan chegaralangan yuz orqali o'tadigan magnit induksiya oqimi bir sekund ichida 0 gacha bir tekis kamayganda konturda bir volt induksiya EYK paydo bo'lsa, bu magnit induksiya oqimi bir veberga teng bo'ladi:*

$$1Wb = 1V \cdot 1s = 1V \cdot s.$$

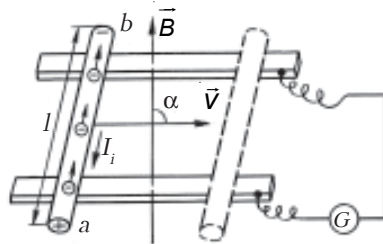
90- §. Magnit maydonda ochiq o'tkazgich harakatlanganida induksion EYKning vujudga kelishi

Agar harakatsiz o'tkazgich o'zgarmas magnit maydonda turgan bo'lsa, o'tkazgichning har bir elektroniga Lorens kuchi ta'sir etadi. Bu kuchning yo'nalishi tashqi maydonning yo'nalishiga hamda elektronning harakat yo'nalishiga bog'liq bo'ladi. Metalldagi erkin elektronlarning tartibsiz harakat qilishi tufayli magnit maydon ta'sirida o'tkazgichdagi zaryadlar harakatining o'zgarishi turlicha yo'nalishda (betartib) bo'ladi va tinch holatdagi o'tkazgichda hech qanday induksion EYK hosil bo'lmaydi.

Endi ochiq o'tkazgich bir jinsli magnit maydonda uning kuch chiziqlariga nisbatan biror burchak ostida harakatlanganida bo'ladigan hodisa bilan tanishib chiqamiz. Buning uchun magnit maydonda o'zaro parallel joylashgan ikkita metall rels ustiga to'g'ri *ab* o'tkazgichni o'rnatamiz. So'ngra o'tkazgichni \vec{v} o'zgarmas tezlik bilan harakatga keltiramiz (187- rasm). Magnit induksiya chiziqlari bilan o'tkazgichning harakat yo'nalishi orasidagi burchak α ga teng bo'lsin. O'tkazgich bilan barcha unda mavjud bo'lgan erkin elektronlar ham o'sha yo'nalishda harakatga keladi. Bunda paydo bo'ladigan va elektronlarga ta'sir etadigan magnit maydon kuchlarining – Lorens kuchining hammasi bir tomonga yo'nalgan bo'lib, o'tkazgich ichida erkin elektronlarni o'tkazgich bo'ylab bir tomonga siljitadi. Natijada o'tkazgichning *a* uchi musbat, *b* uchi manfiy zaryadlanadi va ular orasida induksion EYK vujudga keladi. Agar *ab* o'tkazgichning uchlari sim orqali galvanometr bilan tutashtirilsa, galvanometr induksion tok hosil bo'lganini ko'rsatadi. Bu yerda induksiya EYK ni vujudga keltiruvchi tashqi kuchlar – o'tkazgichning erkin elektronlariga ta'sir etuvchi magnit kuchlaridir.

Magnit maydonda harakatlانayotgan o'tkazgichda hosil bo'lgan induksion EYK ni hisoblaylik. Harakatlانayotgan zaryadli zar-raga magnit maydon tomonidan ta'sir etadigan Lorens kuchi, (140) formulaga muvofiq, quyidagiga teng:

$$F_L = qvB \sin\alpha.$$



187- rasm.

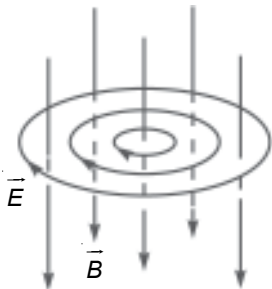
Bu kuch ab o'tkazgich bo'ylab yo'nalgan. Lorens kuchining l yo'lda bajargan ishi $A = F_L l = qvBl \sin\alpha$ bo'ladi. ab o'tkazgichdagi induksiya EYK birlik musbat zaryadni ko'chirishda bajarilgan ishdan iborat ekanligidan quyidagini yozamiz:

$$1_i = \frac{A}{q} = vBl \sin\alpha. \quad (150)$$

Bu formula bir jinsli magnit maydonda v tezlik bilan harakatlانuvchi va uzunligi l bo'lgan har qanday o'tkazgich uchun to'g'ri bo'ladi.

Shunday qilib, o'tkazgichni tashqi magnit maydonda ko'chirgan vaqtda induksion EYK ning, demak, induksion tokning paydo bo'lishiga o'tkazgichdagi erkin elektronlarga Lorens kuchining ta'sir etishi sabab bo'lar ekan. Biroq, biz o'tkazgich konturi harakatsiz qolib, faqat uning yaqinida magnit induksiyasi kattalik jihatdan o'zgargan holda ham induksion tok paydo bo'lishini ko'rgan edik (88- § dagi birinchi tajribaga q.). Shuningdek, zaryadlarning harakati yo elektr kuchlari, yo Lorens kuchlari ta'sirida yuzaga kelishi mumkinligini bilamiz. Lekin bu holda induksion tokning hosil bo'lishini Lorens kuchi ta'siridan deb bo'lmaydi, chunki bu kuch qo'zg'almas zaryadlarga ta'sir qilmaydi. Bundan, o'tkazgichdan yasalgan konturda induksion tokning hosil bo'lishiga sabab — o'tkazgichning ichida uning erkin elektronlarini ma'lum yo'nalish bo'ylab harakat qilishga majbur etuvchi elektr kuchlaridir, degan xulosaga kelamiz.

Demak, magnit maydon induksiyasi kattaligi vaqt o'tishi bilan o'zgarishi natijasida fazoda induksion elektr maydon vujudga keladi (induksiyalanadi) va u o'tkazgichdagi erkin elektronlarni tartibli harakatga keltiradi.



188-rasm

O'zgaruvchan magnit maydon tufayli vujudga kelgan elektr maydonning kuchlanganlik chiziqlari berk bo'ladi va magnit maydon kuch chiziqlarini konsentrik ravishda o'rab oladi (188- rasm). Boshqacha aytganda, induksion elektr maydon, xuddi magnit maydon singari, uyurmaviy xarakterga ega. Shuning uchun bu maydonni uyurmaviy elektr maydon deyiladi. Uyurmaviy elektr maydon

fazoning o'rganilayotgan qismida kontur bo'lishi yoki bo'lmashligidan qat'iy nazar, vujudga kelaveradi. Lekin bu maydonning hosil bo'lishi uchun o'zgaruvchan magnit maydon bo'lishi shart. Kontur esa faqat uyurmaviy elektr maydonning mavjudligini sezishga yordam beradi, xolos.

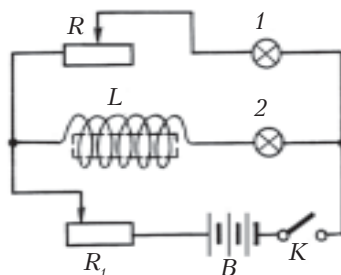
Tajribalarning ko'rsatishicha, o'zgaruvchan elektr maydon o'zgaruvchan magnit maydonni hosil qiladi. Binobarin, o'zgaruvchan elektr maydon ham uyurmaviy elektr maydonni yuzaga keltiradi.

Shunday qilib, elektr va magnit maydonlar o'zaro uzviy bog'langan, ular bir-biridan xoli, bir-biridan mustaqil mavjud bo'la olmaydi. Fazoning biror sohasida o'zgaruvchan elektr maydon hosil qilinsa, ayni shu paytda fazoning shu sohasida o'zgaruvchan magnit maydon ham hosil bo'ladi va, aksincha, o'zgaruvchan magnit maydon, o'z navbatida, o'zgaruvchan elektr maydonni vujudga keltiradi. Bunday ikki maydon birga mavjud bo'lgan soha elektromagnit maydon deb ataladi. Demak, „elektr maydon“ yoki „magnit maydon“ degan tushunchalar nisbiy tushunchalar ekan. Shuni qayd etish lozimki, qo'zg'almas elektr zaryadlari hosil qiladigan elektrostatik maydon bundan mustasno. Elektrostatik maydon magnit maydonni hosil qilmaydi. Bu maydon gravitatsion maydon kabi potensial maydon, uyurmaviy maydon emas.

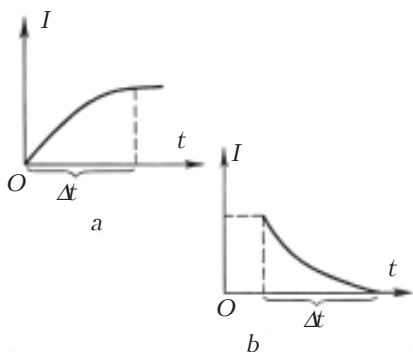
91- §. O'zinduksiya hodisasi. Induktivlik

Olingan konturda oqayotgan elektr toki shu konturni kesib o'tuvchi magnit induksiya oqimini vujudga keltiradi. Bu konturdagi tok kuchi o'zgarsa, magnit oqimi ham o'zgarib, konturdagi tokning o'zgarishiga qarama-qarshi yo'nalishga ega bo'lgan induksion tokni hosil qiluvchi EYK ni induksiyalaydi. Shuning uchun bu hodisa o'zinduksiya hodisasi deyiladi.

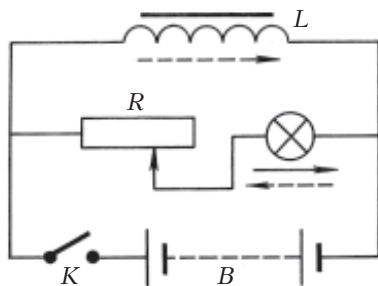
O'zinduksiya hodisasi bilan tajribada tanishib chiqish uchun o'zgarmas tok manbayi va ikkita parallel tarmoqdan iborat zanjir tuzamiz (189- rasm). Tarmoqlardan biriga 1 cho'g'lanma lampa va unga



189- rasm.



190- rasm.



191- rasm.

ketma-ket qilib R reostat, ikkinchi tarmoqqa shunday 2 lampa va unga ketma-ket qilib temir o'zagi bo'lgan L g'altak (elektromagnit) ulaymiz. R reostat yordamida ikkala tarmoqning ham qarshiligini birday qilib olamiz. K kalit ulanganda 1 lampa zanjir ulangan hamon yonadi, 2 lampa esa birmuncha kechikib yonadi. Bu tajribada ro'y bergan hodisalarning sababi elektro-magnit induksiya ekanligini ko'rsatish mumkin.

Zanjirni ulaganda g'altakdagi elektr toki ma'lum bir I qiymatga birdan emas, balki biror Δt vaqt o'tgandan keyin asta-sekin erishadi (190- a rasm). Tok kuchi bilan bir vaqtda magnit induksiya oqimi ham ortib boradi, natijada g'altakda EYK induksiyalanib induksion tok hosil bo'ladi. Lens qonuniga muvofiq, magnit oqimi ortayotgan vaqtda induksion tok zanjirdagi tokning ortishiga qarshi ta'sir ko'rsatadi, shuning uchun 2 lampaning yonishi biroz kechikadi. Zanjirdagi tok ma'lum qiymatga erishganda magnit oqimining o'zgarishi to'xtaydi va o'zinduksiya EYK hamda induksion tok nolga teng bo'ladi.

Endi g'altakka parallel ravishda bitta lampa va unga ketma-ket qilib R reostat ulaymiz (191- rasm). Zanjirni uzganimizda o'chish oldidan lampaning ravshan yonishini ko'ramiz, bunga ham elektromagnit induksiya hodisasi sababchidir. Zanjir uzilganda undagi tok birdaniga emas, balki asta-sekin kamayib borib, biror Δt vaqt ichida yo'qoladi (190- b rasm). Bu tokning o'zgarishi natijasida g'altakda o'zinduksiya EYK paydo bo'lishi bilan induksion tok hosil bo'lib, u dastlabki tokni tiklab turadi. Natijada zanjirni uzish paytida lampadan zanjirni uzishdan oldingi tokka qarshi yo'nalgan tok o'tadi. Bu tok kuchi K kalit ulangan holda lampa orqali o'tayotgan tok kuchidan katta bo'ladi, ya'ni o'zinduksiya

EYK elementlar batareyasining EYK idan katta bo'lib, lampa o'chish oldidan ravshan yonadi.

G'altakda uning o'z magnit oqimi o'zgarishi natijasida induksiyalanadigan elektr yurituvchi kuchi o'z induksiya elektr yurituvchi kuch (I_{is}), tok esa o'z induksion tok (I_{is}) deb ataladi. O'z induksiya EYKning kattaligi g'altakdagi magnit oqimining o'zgarish tezligiga proporsional bo'ladi, magnit induksiya oqimining o'zgarishi esa, o'z navbatida, g'altakdan o'tayotgan tokning o'zgarishiga proporsional bo'ladi. Shuning uchun o'z induksiya EYK uchun quyidagi ifodani yozish mumkin:

$$I_{is} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}, \quad (151)$$

bunda L – g'altakdagi tokning o'zgarish tezligi bilan unda hosil bo'lgan o'z induksiya EYK orasidagi bog'lanishni xarakterlaydigan kattalik bo'lib, bu kattalik g'altakning induktivligi deb ataladi. Bu formulaga asosan, induktivlikni quyidagicha ta'riflash mumkin: *birlik vaqt davomida konturdagi tok kuchi bir birlikka o'zgarganda konturda hosil bo'ladigan o'z induksiya EYK ga son jihatidan teng bo'lgan kattalik shu konturning induktivligi* deb ataladi.

SI da induktivlik birligi qilib genri (H) qabul qilingan. (151) formulaga asosan, *bir sekund davomida tok kuchi bir amperga o'zgarganda konturda bir volt o'z induksiya EYK induksiyalansa, bu konturning induktivligi bir genriga teng* bo'ladi. Demak,

$$1H = \frac{1V}{1\frac{A}{s}} = 1 \frac{V \cdot s}{A}$$

Induktivlikning kattaligi o'tkazgichning o'lchamiga, shakliga hamda muhitning xossalariga bog'liq bo'ladi.

Misol tarzida havodagi solenoidning induktivligini hisoblaylik. Shunday l uzunlikdagi solenoidni olamizki, uni cheksiz uzun deb hisoblash mumkin bo'lsin. Bu solenoid orqali I tok o'tganda uning ichida bir jinsli maydon hosil qiladi. Bu maydonning magnit induksiyasi (130) formulaga binoan, $B = \mu_0 n I$ ga teng.

Har bir o'ram orqali o'tayotgan magnit oqimi $\Phi_1 = BS$ ga, solenoid bilan tutingan oqim esa

$$\Phi = N\Phi_1 = nIBS = \mu_0 n^2 ISl \quad (152)$$

ga teng, bu yerda S – solenoidning ko‘ndalang kesim yuzi, $N = nl$ – o‘ramlarning to‘la soni.

Magnit induksiya vektori magnit maydonni hosil qilgan tok kuchiga proporsionalligidan, konturdagi tok va shu tokni hosil qilib, kontur orqali o‘tayotgan to‘la magnit oqimining o‘zaro proporsional bo‘lishi kelib chiqadi:

$$\Phi = LI, \quad (153)$$

bu yerda L – proporsionallik koeffitsiyenti konturning induktivligini ifodalaydi.

Agar (152) ifodani (153) ifoda bilan taqqoslasak, solenoidning induktivligi uchun quyidagi ifodaga ega bo‘lamiz:

$$L = \mu_0 n^2 IS = \mu_0 n^2 V, \quad (154)$$

bu yerda $V = IS$ – solenoidning hajmi.

VI bob. MODDALARDA MAGNIT MAYDON

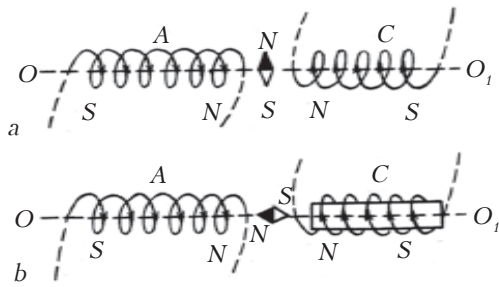
92- §. Moddalarning magnit xossalari

Shu vaqtgacha biz o‘rganilayotgan magnit maydonni vakuumda (yoki amalda havoda ham xuddi shuning o‘zi bo‘ladi) mavjud, deb faraz qilib keldik. Endi magnit maydonga muhit (modda) qanday ta‘sir ko‘rsatishini ko‘rib chiqaylik.

Ikkita bir xil A va C g‘altak olib, ularni bir-biridan biroz siljitgan holda gorizontal OO_1 o‘q bo‘yicha joylashtiramiz (192- rasm). G‘altaklar orasiga vertikal o‘q atrofida harakatlana oladigan qilib magnit strelka joylashtiramiz. Butun qurilmani magnit strelka g‘altaklar o‘qiga nisbatan perpendikular joylashadigan qilib o‘rnatamiz, so‘ng ikkala g‘altakdan kattaligi bir xil, lekin yo‘nalishi qarama-qarshi bo‘lgan tok o‘tkazamiz (192- a rasm). Bu vaqtda magnit maydonga joylashtirilgan magnit strelka harakatga kelmaydi. Chunki ikkala tokning hosil qilgan magnit maydoni bir xil kattalikda va qarama-qarshi yo‘nalgan bo‘lgani uchun g‘altaklar orasidagi hajmda magnit induksiya nolga teng bo‘ladi.

Ikkala g‘altakdan o‘tayotgan tok kuchini o‘zgartirmagan holda ulardan birining, masalan, C g‘altakning ichiga temir sterjen kiritamiz (192- b rasm). U holda magnit strelka o‘z holatini o‘z-

gartiradi. C g'altakning magnit maydoni kuchayadi va g'altaklar orasidagi natijaviy maydon noldan farqli bo'ladi. Bu hol temir sterjenning C g'altakning magnit maydonida magnitlanib qolishi va o'zining xususiy magnit maydonini hosil qilishi bilan tushuntiriladi. Bu magnit maydon *ichki maydon* deb ataladi. Sterjen moddasida natijaviy maydonning magnit induksiyasi \vec{B} tashqi (C g'altak) maydon induksiyasi \vec{B}_0 bilan sterjen magnitlanishi natijasida hosil bo'lgan ichki maydon induksiyasi \vec{B}_i ning vektor yig'indisiga teng bo'ladi:



192- rasm.

$$\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}_i . \quad (155)$$

Shu va shunga o'xshash ko'pgina tajribalarning hamda nazariyaning ko'rsatishicha, magnit maydonga joylashtirilgan barcha moddalar magnit xossalriga ega bo'ladi, ya'ni magnitlanadi va shuning uchun dastlabki maydonni ma'lum darajada o'zgartiradi. Magnit maydonga ta'sir ko'rsatadigan bunday moddalar *magnetiklar* deb ataladi.

Amper jismlarning magnitlanishini tushuntirish uchun moddalarning molekularida yoki atomlarida *aylanma toklar* mavjud, ya'ni atom va molekular tarkibidagi elektronlarning uzluksiz aylanma harakati natijasida aylanma tok hosil bo'ladi, deb qaradi. Bu *molekular tok* deb ataladi. Har bir shunday tok atrof fazoda magnit maydon hosil qiladi. Tashqi maydon ta'siri bo'lmaganda molekular toklar tartibsiz joylashganidan, ularning natijaviy maydoni nolga teng bo'ladi. Har bir molekulaning magnit momenti tartibsiz yo'nalishda joylashgan bo'lgani sababli, jismning yig'indi magnit momenti ham nolga teng bo'ladi. Tashqi maydon qo'yilganda molekular momentlarining ma'lum bir yo'nalishda joylashishi ko'proq bo'ladi, buning natijasida magnetik magnitlanib, uning yig'indi magnit momenti noldan farqli bo'lib qoladi. Bu holda har bir molekular tokning magnit maydoni bir-biri bilan qo'shib, B_i maydonni hosil qiladi.

Shunday qilib, (155) formula magnetikdagi magnit maydonning \vec{B} induksiyasi o'tkazuvchanlik toki (uni makrotok deb ataymiz) hosil qilgan magnit maydonning \vec{B}_0 induksiyasi bilan magnetikdagi molekular toklar (ularni mikrotok deb ataymiz) hosil qilgan magnit maydonning \vec{B}_i induksiyasi yig'indisidan iborat ekanligini ko'rsatadi. Vakuumda magnit maydon faqat makrotoklar tufayli vujudga keladi. Muhit (magnetik)dagi magnit maydonning \vec{B} induksiyasini aniqlash uchun faqat o'tkazgichlardan o'tuvchi toknigina emas, balki molekular toklarni ham bilish zarur. Lekin bu juda mushkul vazifa. Bunday qiyinchilikdan qutulish uchun faqat makrotoklar orqali aniqlanadigan qo'shimcha kattalik kiritiladi. Bu kattalikni magnit maydon kuchlanganlik vektori deb ataladi va \vec{H} harfi bilan belgilanadi.

\vec{B} magnit induksiya vektori bilan \vec{H} magnit maydon kuchlanganlik vektori orasidagi bog'lanishni aniqlaylik. Bunda magnetiklarning magnit maydonda magnitlanishidan foydalanamiz.

Tajribalarning ko'rsatishicha, tashqi magnit maydon ta'sirida magnetiklar turlicha magnitlanadi. Magnetiklarning magnitlanganlik darajasini xarakterlash uchun magnitlanish vektori degan kattalik kiritiladi va uni \vec{J} harfi bilan belgilanadi.

Magnitlanish vektori deb, bir jinsli magnitlangan magnetikning birlik hajmidagi atomlar yoki molekular magnit momentlarining geometrik yig'indisiga teng bo'lgan kattalikka aytiladi. Agar magnetikning magnitlanishi bir jinsli bo'lmasa, berilgan nuqtadagi magnitlanish vektori

$$\vec{J} = \frac{\sum \vec{P}_m}{\Delta V} \quad (156)$$

ifoda bilan aniqlanadi, bu yerda ΔV – qaralayotgan nuqta atrofida olingan cheksiz kichik hajm, \vec{P}_m – alohida atom yoki molekulaning magnit momenti, yig'indi ΔV hajmda joylashgan barcha molekular bo'yicha olinadi.

SI da magnitlanish vektorining birligi

$$[J] = \frac{[P_m]}{[V]} = \frac{A \cdot m^2}{m^3} = \frac{A}{m}.$$

Tegishli hisoblashlarning ko'rsatishicha, magnit maydon induksiyasi, magnit maydon kuchlanganligi va magnitlanish vektori orasidagi bog'lanish quyidagicha ifodalanadi:

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{J}. \quad (157)$$

Vakuumda $\vec{J} = 0$ bo'lganligi uchun

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}_0}{\mu_0}. \quad (158)$$

Bundan, *vakuumdagi magnit maydon kuchlanganlik vektori magnit induksiya vektori bilan bir xil yo'nalgan, lekin undan μ_0 marta kichik bo'lgan kattalikdir, degan xulosaga kelamiz.*

(158) ifodadan magnit maydon kuchlanganlik vektorining SI dagi birligini aniqlash mumkin:

$$[H] = \frac{[B_0]}{[\mu_0]} = \frac{N/(A \cdot m)}{N/A^2} = \frac{A}{m}.$$

Demak, μ_0 ning son qiymati $4\pi \cdot 10^{-7}$ ga tengligini e'tiborga olsak, (158) dan vakuumda magnit maydon biror nuqtasining kuchlanganligi $H = 1 \frac{A}{m}$ bo'lsa, uning induksiyasi $B_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} T$ ga teng bo'lishi kelib chiqadi.

93- §. Magnetiklar. Magnit qabul qiluvchanlik va magnit singdiruvchanlik

Odatda, muhitning \vec{J} magnitlanish vektorini \vec{B} magnit induksiyasi bilan emas, balki \vec{H} magnit maydon kuchlanganligi bilan bog'lash qabul qilingan. Tajribalarning ko'rsatishicha, \vec{J} magnitlanish vektori \vec{H} kuchlanganlik vektoriga to'g'ri proporsional ekan:

$$\vec{J} = \chi \vec{H}, \quad (159)$$

bu yerda χ — o'lchamsiz va berilgan magnetikni xarakterlovchi kattalik bo'lib, uni magnit qabul qiluvchanlik deb ataladi.

(159) ifodani (157) ifodaga keltirib qo'yamiz:

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \chi \vec{H}, \quad \text{bundan} \quad \vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0(1+\chi)}. \quad (160)$$

O'lchamsiz kattalik

$$\mu = 1 + \chi \quad (161)$$

ni muhitning nisbiy magnit singdiruvchanligi (yoki kirituvchanligi) deyiladi.

χ magnit qabul qiluvchanlik ham musbat, ham manfiy qiymatlarga ega bo'lishi va shu sababli, μ nisbiy magnit singdiruvchanlik birdan katta yoki kichik bo'lishi mumkin.

(161) ifodadan μ ning qiymatini (160) ga keltirib qo'ysak,

$$\bar{H} = \frac{\bar{B}}{\mu\mu_0} \quad (162)$$

munosabatni olamiz. μ_0 magnit doimiysi (yoki vakuumning absolut magnit singdiruvchanligi) bilan μ nisbiy magnit singdiruvchanlikning ko'paytmasi bo'lgan

$$\mu_a = \mu\mu_0 \quad (163)$$

kattalik muhitning absolut magnit singdiruvchanligi deb ataladi.

(163) ifodadan ko'rinadiki, muhitning μ_a absolut magnit singdiruvchanligi μ_0 magnit doimiysi birligi kabi birlikka ega ekan.

(158) va (162) ifodalarni o'zaro taqqoslab,

$$B = \mu\bar{B}_0 \quad (164)$$

ekanligini ko'ramiz. Demak, *muhit (magnetik)ning μ nisbiy magnit singdiruvchanligi muhitdagi magnit maydon induksiyasi vakuumdagi magnit maydon induksiyasidan necha marta katta ekanligini ko'rsatadi.*

Olimlar turli moddalarning magnit xossalarini o'rganib, bu moddalarning magnit singdiruvchanligi vakuumning magnit singdiruvchanligidan katta ham, kichik ham bo'lishi mumkinligini aniqladilar. Magnit singdiruvchanligining kattaligiga qarab moddalar uchta guruhga bo'linadi.

Magnit singdiruvchanligi vakuumning magnit singdiruvchanligidan kichik bo'lgan moddalar diamagnit moddalar yoki diamagnetiklar deb ataladi ($\mu < 1$). Bular jumlasiga vismut, surma, qo'rg'oshin, kumush, mis, oltin, suv, argon, geliy, neon, kripton, ksenon va barcha organik moddalar, masalan, qand, kraxmal va boshqalar kiradi.

Magnit singdiruvchanligi vakuumning magnit singdiruvchanligidan ozgina katta bo'lgan moddalar ($\mu > 1$) paramagnit moddalar yoki paramagnetiklar deb ataladi. Paramagnetiklar jumlasiga aluminiy, platina, natriy, xrom,

marganes, temir tuzlarining eritmalari, kislorod, havo va boshqalar kiradi.

Magnit singdiruvchanligi vakuumning magnit singdiruvchanligidan ko'p marta katta bo'lgan moddalar ($\mu \gg 1$) ferromagnit moddalar yoki ferromagnetiklar deb ataladi. Bunday moddalar jumlasiga temir, cho'yan, po'lat, nikel, kobalt, qator magnit qotishmalari va boshqalar kiradi.

94- §. Diamagnetiklar va paramagnetiklar

Moddadagi magnit hodisalarni modda tuzilishining hozirgi zamon nazariyasi nuqtayi nazaridan quyidagicha tushuntiriladi.

76- § da ko'rganimizdek, aylanma tok va doimiy magnitning magnit maydonlari bir-biriga o'xshaydi. Bunday o'xshashlikdan 1820- yilda A m p e r doimiy magnitlarning magnit xossalari ularda mavjud bo'lgan aylanma toklar sabab bo'ladi, degan gipotezani ilgari suradi. Biroq bunday elementar aylanma toklarning qayerdan kelib chiqishi XX asrning boshiga qadar noaniq qolib kelar edi. Faqat XX asrning boshida atom tuzilishi aniqlandi: atom yadro va elektron qobiqdan tashkil topgan bo'lib, elektronlar yadro atrofida berk orbitalar bo'yicha katta tezlik bilan harakatlanadilar. Elektronlarning atom yadrosi atrofidagi aylanma harakatlari elementar aylanma toklarni (yoki orbital toklarni) hosil qiladi. Har bir aylanma tokka orbital magnit momenti mos keladi (74- § ga q.). Bundan tashqari, elektronlar xususiy mexanik va xususiy magnit momentlariga ham ega. Hozirgi vaqtda elektronlarning xususiy mexanik va xususiy magnit momentlarini elektron uchun uning massasi va zaryadi kabi ajralmas xususiyatlari, deb qaraladi. Elektronning xususiy mexanik momenti $s p i n$ (inglizcha „to spin“ – aylanmoq) deb ataladi. Faqat elektrongina emas, balki boshqa elementar zarralar, shu jumladan, yadro tarkibiga kiruvchi proton va neytronlar ham spinga ega.

Atom (molekula)ning magnit momenti uning tarkibiga kiruvchi elektronlarning orbital va xususiy magnit momentlari hamda yadro magnit momenti (yadro tarkibiga kiruvchi proton va neytronlarning yig'indi magnit momentlari)ning yig'indisidan iboratdir. Lekin yadroning magnit momenti elektronning magnit momentidan taxminan 2000 marta kichik. Shuning uchun moddalarning magnit xossalari o'rganishda yadroning magnit mo-

menti nazarga olinmaydi va atom (molekula)ning magnit momenti elektronlarning *orbital* va *xususiy* magnit momentlarining vektor yig'indisidan iborat, deb qaraladi.

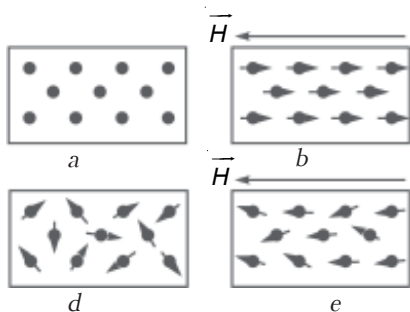
Diamagnet moddalarda atom (yoki molekula)ning yig'indi magnit momenti nolga teng bo'ladi, bu momentlar bir-birini to'la kompensatsiyalaydi (193- a rasmda atomlar nuqtalar bilan tasvirlangan). Tashqi maydon qo'yilganda atomlarda magnit moment induksiyalanadi (193- b rasmda induksiyalangan magnit momentlar strelkalar bilan tasvirlangan; H – tashqi magnit maydon kuchlanganligi.) Natijada diamagnetik magnitlanadi (diamagnetik effekt) va o'zining xususiy magnit maydonini hosil qiladi. Lens qoidasiga ko'ra, bu maydon tashqi maydonga qarama-qarshi yo'nalgan bo'lib, uni zaiflashtiradi.

Diamagnetiklar uchun magnit qabul qiluvchanlik χ manfiy qiymatga ega, binobarin, magnit singdiruvchanlik $\mu = (1 + \chi) < 1$ bo'ladi. Diamagnetik atomlarining induksiyalangan magnit momentlari tashqi maydon bo'lgunicha saqlanadi, tashqi maydon yo'qotilganda atomlarning induksiyalangan magnit momentlari ham yo'qoladi va diamagnetik magnitsizlanadi.

Paramagnet moddalarning atomlari (yoki molekulari)da orbital va xususiy magnit momentlarning yig'indisi nolga teng bo'lmaydi, demak, paramagnetik atomlari hamma vaqt magnit momentiga ega bo'ladi. Biroq, atom magnit momentlari tartibsiz joylashgan bo'lgani sababli (193- d rasm), paramagnetik yaxlit hoida magnit xossalarini namoyon qilmaydi. Tashqi magnit maydon ta'sirida paramagnetik atomlarining magnit momentlarining asosan ko'pchiligi maydon yo'nalishi bo'yicha oriyentirlanadi (193- e rasm). (Magnit momentlarining to'la oriyentirlanishiga issiqlik harakati to'sqinlik qiladi.) Natijada paramagnetik magnitlanadi (paramagnetik effekt) va o'zining xususiy maydonini hosil qiladi.

Bu xususiy maydon hamma vaqt tashqi maydon yo'nalishiga mos keladi va shuning uchun uni kuchaytiradi.

Paramagnetiklar uchun χ magnit qabul qiluvchanlik musbat qiymatni oladi, ya'ni $\chi > 0$, binobarin, $\mu = (1 + \chi) > 1$ bo'ladi.



193- rasm.

Aniqlanishicha, diamagnetik effekt hamma moddalarda, xususan, paramagnetiklarda ham kuzatiladi. Biroq paramagnetik effekt diamagnetik effektdan ancha kuchli kechadi. (Paramagnetiklarning magnit qabul qiluvchanligi diamagnetiklarnikidan taxminan 100 marta katta). Shu sababli, diamagnetik effekt paramagnetik effekt fonida sezilmay qoladi.

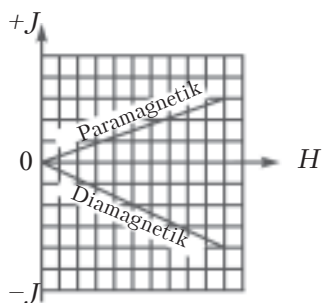
95- §. Ferromagnetiklarning asosiy xossalari

Ferromagnetiklarning asosiy xossalari quyidagilardan iborat.

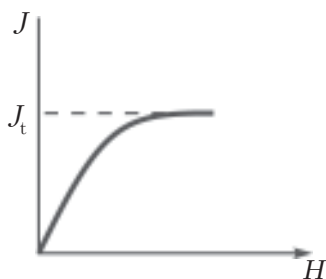
1. Ferromagnetiklar — kuchli magnit moddalardir, ularning magnitlanishi kuchsiz magnit hisoblangan dia- va paramagnetiklarnikidan bir necha (10^{10} gacha) marta kattadir.

2. Dia- va paramagnetiklarning magnitlanishi tashqi maydon kuchlanganligi bilan chiziqli bog‘lanishga ega (194- rasm, bu yerda J — magnitlanish vektori, H — tashqi maydon kuchlanganligi). Ferromagnetiklarning magnitlanishi esa tashqi maydon kuchlanganligi bilan murakkab bog‘langan. 195- rasmda dastlabki magnit momenti nol bo‘lgan ferromagnetikning magnitlanish egri chizig‘i ko‘rsatilgan. Rasmdan ko‘rinadiki, maydon kuchlanganligi ortib borishi bilan magnitlanish vektori dastlab tez o‘sib biradi, so‘ng o‘shish sekinlashadi va, nihoyat, o‘shish to‘xtaydi, to‘yinish yuz beradi.

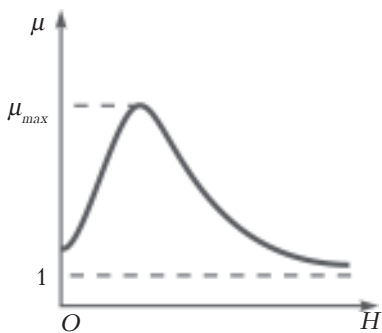
3. Dia- va paramagnetiklarning magnit singdiruvchanligi o‘zgarmas kattalik. Ferromagnetiklarning magnit singdiruvchanligi doimiy emas. Uning qiymati magnit maydon kuchlanganligiga kuchli bog‘liq. Ferromagnetik asta-sekin kuchayuvchi magnit maydonga joylashtirilsa, μ dastlab tez ortadi, μ_{\max} maksimumga erishadi va so‘ngra $\mu = 1$ qiymatga yaqinlashib kamayadi (196- rasm).



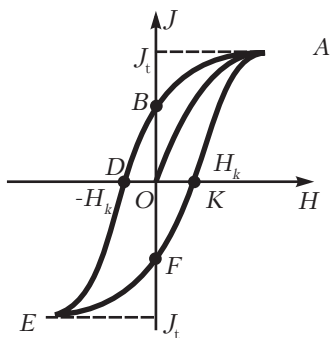
194- rasm.



195- rasm.



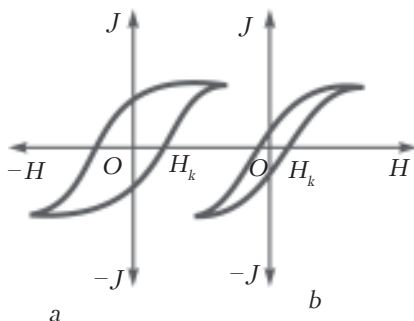
196- rasm.



197- rasm.

4. Ferromagnetiklarning o'ziga xos xususiyatlaridan biri shuki, ular magnetlovchi maydon ta'siri to'xtagandan keyin ham magnitlanganicha qoladi. Bu hodisani rus olimi A.G. St o l e t o v tomonidan temirning magnitlanishini tajribada o'rganish borasida olgan natijalarida ko'rish mumkin. Agar temir namuna oldindan magnitlanmagan bo'lsa, dastlab tashqi maydon kuchlanganligi ortishi bilan temirning magnitlanishi 197- rasmda tasvirlangan OA chiziq bo'ylab o'sib boradi, so'ng qiyosan zaif maydonlarda ham to'yinish yuz beradi: H ning o'sishiga qaramay, J magnitlanish o'zgarmay qolaveradi. To'yinish yuz berganda barcha molekular toklar butunlay maydon bo'ylab joylashgan bo'ladi, shuning uchun tashqi maydonning yanada ortishi bilan bu toklar hosil qilgan maydon boshqa o'zgarmay qoladi. Agar J_t to'yinish holatigacha magnitlangan ferromagnetikda tashqi magnet maydon kuchlanganligini kamaytira boshlasak, u holda J magnitlanish ham kamayadi; biroq u endi grafikda ko'rsatilgan AO chiziq bo'yicha emas, balki AB chiziq orqali kamayadi. Tashqi magnet maydon nol bo'lganda ferromagnetik to'la magnitsizlanmaydi: B nuqtada J_q qoldiq magnitlanish saqlanib qoladi. Uning to'la magnitsizlanishi uchun $H = -H_k$ kuchlanganlikli qarama-qarshi tashqi maydon hosil qilish zarur. Bu H_k kattalik koersitiv (to'xtatuvchi) kuch deb ataladi. Qarama-qarshi maydonni yana kuchaytirishda ferromagnetik qayta magnitlana boshlaydi (DE chiziq) va J_t to'yinishgacha magnitlanadi. So'ngra ferromagnetikni yana magnitsizlash (EFK chiziq) va qaytadan J_t gacha magnitlash (KA chiziq) mumkin. J magnitlanish o'zgarishining magnetlovchi maydon H kuchlanganligi o'zgarishlaridan bunday orqada qolish hodisasi magnet gisterезis

deb, *ABDEFKA* berk egri chiziq esa gisterezis sirtmog‘i deb ataladi. Turli xil ferromagnetiklarning gisterezis sirtmog‘ining shakli turlicha bo‘ladi. Sirtmoqning shakli materialning eng muhim xarakteristikasi hisoblanadi. Agar koersitiv kuch katta bo‘lsa, ferromagnetikning gisterezis sirtmog‘i keng bo‘ladi (198- a rasm). Bunday ferromagnetikni qattiq ferromagnetik deyiladi. H_k koersitiv kuch kichik bo‘lgan ferromagnetiklar uchun ingichka gisterezis sirtmog‘i mos keladi (198- b rasm). Bunday ferromagnetik yumshoq ferromagnetik deyiladi.

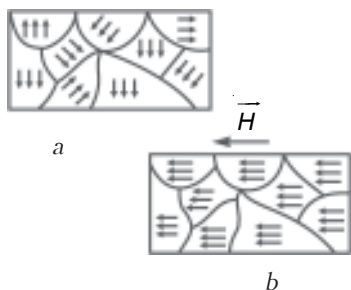


198- rasm.

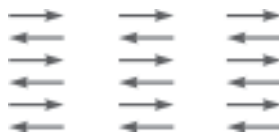
5. Ferromagnetiklarning yana bir muhim xususiyati shundan iboratki, har bir ferromagnetik uchun Kyuri nuqtasi deb ataluvchi aniq θ temperaturada ular o‘zlarining ferromagnetiklik xossalari yo‘qotadi. Masalan, temir uchun bu temperatura 1043 K, nikel uchun 633 K. Kyuri nuqtasidan yuqori temperaturada ferromagnetik oddiy paramagnetikka aylanadi.

96- §. Ferromagnetizmning tabiati. Antiferromagnetiklar. Ferritlar

Bir qator tajribalardan olingan natijalar asosida olimlar ferromagnetikning magnit xususiyatlari elektronlarning orbital magnit momentiga emas, balki xususiy magnit momentiga bog‘liq ekan, degan xulosaga keldilar. Aniqlanishicha, ma‘lum bir sharoitlarda ferromagnetiklarda o‘zaro almashinuv kuchlari deb ataladigan kuchlar hosil bo‘lib (bu kuchlarning tabiatini kvant mexanikasigina tushuntirib bera oladi), ular elektronlarning spinini o‘zaro parallel joylashtiradi. Natijada ferromagnetiklarda o‘z-o‘zidan (spontan) to‘yinishgacha magnitlangan kichik sohalar (o‘lchami $10^{-6} \div 10^{-5}$ m) hosil bo‘ladi, bu sohalar domenlar deyiladi. Ferromagnetiklarda domenlarning mavjudligi to‘g‘risidagi gipotezani 1907- yili fransuz olimi P. Veyss ilgari surgan, 1935- yili sovet olimlari P. Landau va E. Lifshits nazariy isbotlagan, N. Akulov va M. Dektyar esa tajribada aniqlagan. Domenlar ko‘plab milliard atomlarni birlashtiradi. Alohida domenlardagi magnit



199- rasm.



200- rasm.

maydonlarning yo‘nalishlari bir xil emas, shuning uchun tashqi magnet maydon bo‘lmaganda butun ferromagnetik magnetlanmagan bo‘ladi (199- a rasm).

Tashqi magnet maydon ta‘sirida domenlar bir-birini kuchaytiradigan bo‘lib qayta joylashadi (199- b rasm). Barcha domenlardagi magnet maydonlar tashqi magnet maydon bo‘ylab yo‘nalganda magnet maydon eng ko‘p kuchayadi, bunda ferromagnetik to‘yinishgacha magnetlanadi.

Tashqi maydon yo‘qotilganida ferromagnetiklar butunlay magnitsizlanmaydi, balki qoldiq magnetlanishni saqlaydi, chunki issiqlik harakati bunday yirik atom to‘plamlari — domenlar joylashuvini buza olmaydi. Shu sababli, magnet gisterezis hosil bo‘ladi. Ferromagnetikni qizdirish va silkitish ham magnitsizlashga yordam beradi. Kyuri nuqtasiga teng bo‘lgan temperaturada issiqlik harakati domenlarning o‘zidagi atomlar joylashuvini buzadi, buning natijasida ferromagnetik paramagnetikka aylanadi.

O‘zaro almashinuv kuchlari ta‘sirida ba‘zi moddalarda juft-juft atomlardagi elektronlarning xususiy magnet momentlari antiparallel joylashib qoladi (200- rasm). Bunday moddalar antiferromagnetiklar deb ataladi. Antiferromagnetiklarning kristall panjarasi bir-birining orasiga kirgan ikkita panjaraning yig‘indisidan tarkib topgan, deb tasavvur qilish mumkin. Har bir panjarada spinlar o‘zaro parallel joylashgan, lekin bir panjaradagi spinlar ikkinchi panjaradagi spinlarga qarama-qarshi yo‘nalgan bo‘ladi. Ikkala panjara bir xil ionlardan tarkib topgan. Shuning uchun panjaralarning magnet momentlari bir xil kattalikda bo‘lib, tashqi magnet maydon bo‘lmaganda antiferromagnetikning magnetlanishi nolga teng bo‘ladi. Tashqi maydon ta‘sirida bir qism spinlar o‘z yo‘nalishini o‘zgartiradi va antiferromagnetik magnetlanib qoladi.

Agar panjaralarning magnit momentlari bir-biriga teng bo'lmasa, bunday ferromagnetiklarda natijaviy magnitlanish noldan farqli bo'ladi. Bunday xossaga yarimo'tkazgichli ferromagnetiklar ega bo'lib, ularni ferrimagnetiklar yoki ferritlar deyiladi.

Antiferromagnetiklar uchun ham shunday temperatura mavjudki, bu temperaturadan yuqori temperaturalarda spinlarning antiparallel joylashishi yo'qoladi. Bu temperaturani antiferromagnetiklar uchun Kyuri nuqtasi deb ataladi.

Ferromagnetiklarda qoldiq magnitlanish hosil qilish mumkinligi *doimiy magnitlarni*, ya'ni tashqi manbalardan elektr toki berib turmaganda ham atrofdagi fazoda magnit maydon hosil qila oladigan jismlarni yaratishga imkon beradi. Doimiy magnitlar qoldiq magnitlanishi va koersitiv kuchi katta bo'lgan ferromagnetiklar („qattiq“ po'latlar)dan yasaladi.

Ferromagnetiklar texnikada keng ishlatiladi. Ulardan magnit ekranlar, tovushni magnit usulida yozib olish uchun lentalar, turli asbob va mexanizmlar (telefon, telegraf apparati, transformator, magnit krani) uchun elektromagnetik o'zaklar tayyorlashda foydalaniladi. Quyida tovushning magnit usulida yozilishi bilan tanishib chiqamiz.

Tovushni magnit usulda yozib olish, asosan, magnitofonlarda qo'llaniladi. Bu usulda tovush yozib olish ferromagnit xususiyatga ega bo'lgan materiallarning magnit maydondan o'tganda magnitlanib, shu magnitlangan holatini maydondan chiqqandan keyin ham saqlab qolish xususiyatiga asoslangan. Buning uchun asetil-selluloza, triatsetat yoki lavsan kabi plyonkalardan egiluvchan tasmalar tayyorlanadi. Tasmalar sirtiga temir yoki ferrit kobalt – ferromagnetikning kukuni aralashtirilgan yopishqoq modda yupqa qatlam qilib surkaladi. Bunday tasmalar magnit tasmalar deb ataladi.

Tovushni magnit usulida yozib olish uchun tovush chastotali toklar hosil qilgan o'zgaruvchan maydonda o'zgarmas tezlik bilan magnit tasma tortib o'tkaziladi, natijada tasma magnitlanadi. Bunda qoldiq magnitlanish tasma bo'yicha o'zgarib boradi, shunday qilib, tovush magnit fonogramma shaklida tasmada yoziladi.

Magnit usulida tasmaga yozilgan tovush qayta tiklanishi uchun uni qo'zg'almas g'altak oldidan tortib o'tkaziladi va g'altakda tovush chastotali elektr yurituvchi kuch induksiyalanadi. Tovushni qayta eshittirish apparatining tuzilishi prinsip jiha-

tidan tovushni yozib olish apparati tuzilishidan farq qilmaydi. Shuning uchun tovush yozib olish va qayta eshittirish apparati bitta asbob — magnitofonga birlashtirilgan.

Tovush yozib olingan tasmani magnitsizlab, tovush yozuvlarini oson o'chirish mumkin, bunda tasma tovush yozish uchun yana yarayveradi.

97- §. Magnit maydon energiyasi

Magnit maydonning tok bilan chambarchas bog'liq ekanini yuqorida ko'rib o'tdik. Unda magnit maydon tokning paydo bo'lishi, o'zgarishi va yo'qolishi bilan, mos ravishda, paydo bo'ladi, o'zgaradi va yo'qoladi. Demak, tok energiyasining bir qismi hamma vaqt magnit maydon hosil qilishga sarflanadi. Shuning uchun hosil bo'lgan magnit maydon tokning bu maydonni hosil qilish uchun sarflagan ishiga teng yoki boshqacha qilib aytganda, tok bilan bog'langan magnit induksiya oqimini hosil qilish uchun sarflagan ishiga teng energiyaga ega bo'lishi kerak. Elektromagnit induksiya hodisasining, jumladan, o'zinduksiya hodisasining fizik mohiyati magnit maydonning energiyasi mavjud ekanligi bilan tushuntiriladi. Konturga ulangan tok o'zining maksimal qiymatiga (Om qonuni bilan aniqlanadigan) darhol erishmay, balki biror kichik vaqt oralig'ida o'sib yetadi. Chunki tok energiyasining bir qismi bu vaqtda magnit maydon hosil qilishga sarf bo'ladi. Ulangan tokning bunday „tormozlanishi“ konturda o'zinduksiya teskari tokining paydo bo'lishiga teng kuchlidir. Tok maksimal qiymatga yetgach, o'zgarmas bo'lib qoladi. Bunda uning magnit maydoni ham o'zgarmas bo'ladi. Tok uzilganda esa uning magnit maydoni asta-sekin yo'qoladi. Biroq energiyaning saqlanish qonuniga asosan, magnit maydonning energiyasi yo'q bo'la olmaydi. Bu energiya uzilayotgan tokni kuchaytiruvchi o'zinduksiya tokining energiyasiga aylanadi. Shunday qilib, *elektromagnit induksiya hodisasi elektr toki energiyasi va magnit maydon energiyasining o'zaro almashinishiga asoslangan*. O'zinduksiya hodisasi mexanikadagi inersiya hodisasiga o'xshaydi. Masalan, inersiya tufayli jism biror kuch ta'siri ostida ma'lum tezlikka birdan emas, balki asta-sekin erishadi. Tormozlanuvchi kuch qancha katta bo'lmasin, jismni baribir bir onda to'xtatib bo'lmaydi. Modomiki, o'zinduksiya bilan inersiya o'xshash ekan, mexanikada massa jism tezligini oshirishda qanday rol o'ynasa, tok hosil qilish jarayonida induktivlik ham xuddi shunday rol o'ynashi kerak.

Bunda jismning tezligi rolini elektrodinamikada elektr zaryadlarining harakatini xarakterlaydigan kattalik sifatida tok kuchi o'taydi. Shunday ekan, magnit maydonning energiyasini jismning mexanikadagi $\frac{mv^2}{2}$ kinetik energiyasiga o'xshatib, quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$W_m = L \frac{I^2}{2}, \quad (165)$$

bunda L – konturning induktivligi, I – undan o'tuvchi tok kuchi.

Bu formula bilan ifodalangan magnit maydon energiyasi o'tkazgichning geometrik xarakteristikasi bo'lgan induktivlik va o'tkazgichdagi tok kuchi orqali ifodalangan. Shu energiyani magnit maydon xarakteristikalari orqali ifodalaymiz. Buning uchun induktivligi L bo'lgan va I tok o'tayotgan cheksiz uzun solenoidni ko'rib chiqamiz.

Solenoiddan o'tayotgan tokning magnit maydon energiyasi (165) formula bilan aniqlanadi. Solenoidning induktivligi (154) formulaga binoan,

$$L = \mu\mu_0 n^2 V,$$

bu yerda V – solenoidning hajmi, n – solenoidning birlik uzunligidagi o'ramlar soni, μ – solenoidning ichki qismini to'ldirgan muhitning nisbiy magnit singdiruvchanligi. Bundan tashqari, I tok kuchi bilan solenoidning ichidagi magnit maydon kuchlanganligi H orasida, (130) formulaga binoan, quyidagicha bog'lanish bor:

$$H = nI, \quad \text{bundan } I = \frac{H}{n}.$$

L va I larning bu qiymatlarini (165) formulaga qo'yib, quyidagini topamiz:

$$W_m = \frac{\mu\mu_0 H^2}{2} \cdot V. \quad (166)$$

Shunday qilib, magnit maydon energiyasi bu maydon kuchlanganligining kvadratiga va u egallagan fazoning hajmiga proporsional bo'ladi.

Magnit maydonning solenoid egallagan hajm birligiga to'g'ri keladigan energiyasi, ya'ni magnit maydon energiyasining zichligi quyidagiga teng bo'ladi:

$$w_m = \frac{W_m}{V} = \frac{\mu\mu_0 H^2}{2}. \quad (167)$$

Magnit maydon energiyasi zichligi uchun keltirib chiqarilgan bu ifoda elektr maydon energiyasi zichligi uchun keltirib chiqarilgan

$$w_e = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2}$$

ifodaga o'xshaydi, biroq bu yerda ϵ_0 , ϵ , E elektr kattaliklari μ_0 , μ , H magnit kattaliklari bilan almashtirilgan.

Elektromagnit maydonning to'la energiya zichligi elektr va magnit maydon energiya zichliklarining yig'indisiga teng bo'ladi:

$$w = w_e + w_m = \frac{1}{2} (\epsilon_0 \epsilon E^2 + \mu\mu_0 H^2). \quad (167 a)$$



Takrorlash uchun savollar

1. Faradey kashf etgan elektromagnit induksiya qonunining mohiyati nimada? 2. Lens qonunining mohiyati nimada? 3. O'ng qo'l qoidasi qanday ta'riflanadi va qanday hollarda qo'llaniladi? 4. Magnit maydonda harakatlanayotgan o'tkazgichda vujudga kelgan induksion EYK ning ifodasini yozing va tushuntiring. 5. Uyurmaviy elektr maydon va elektromagnit maydon haqida tushuncha bering. 6. O'zinduksiya hodisasi nimadan iborat? 7. O'zinduksiya EYK ning kattaligi nimalarga bog'liq? 8. O'tkazgichning induktivligi deb nimaga aytiladi va uning SI dagi birligi qanday? Ta'rifini bering. 9. Magnetiklar qanday moddalar? Ularning qanday turlarini bilasiz va bir-biridan farqi nimada? 10. Magnitlanish vektori va magnit maydon kuchlanganlik vektori qanday fizik kattaliklar? 11. Nisbiy magnit singdiruvchanlik deb nimaga aytiladi? Absolut magnit singdiruvchanlik deb-chi? Formulalari qanday ko'rinishda? 12. Diamagnetik effektini tushuntiring. 13. Paramagnetik effektini tushuntiring. 14. Ferromagnetiklarning asosiy xossalari nimalardan iborat? 15. Kyuri nuqtasi deb ataladigan temperatura nimani bildiradi? 16. Magnit gisterezisi qanday hodisa? Gisterezis sirtmog'i nimani anglatadi? 17. Antiferromagnetiklar, ferritlar haqida qanday tushunchalarga egasiz? 18. Qattiq va yumshoq ferromagnetiklar bir-biridan qanday farqlanadi? Ular qayerlarda va qanday maqsadlarda ishlatiladi? 19. Magnit maydon energiyasi qanday hisoblanadi? Energiya zichligi-chi?



MASALA YECHISH NAMUNALARI

1- masala. Induksiyasi $5 \cdot 10^{-2}$ T bo'lgan magnit maydonda 1 m uzunlikdagi sterjen uning uchidan o'tuvchi, magnit maydonning kuch chiziqlariga parallel bo'lgan o'q atrofida $20 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$ o'zgarmas burchak tezlik bilan aylanmoqda. Sterjenning uchlarida hosil bo'ladigan induksiya EYK ning kattaligini toping.

$$\text{Berilgan: } B = 5 \cdot 10^{-2} \text{ T; } l = 1 \text{ m; } \omega = 20 \frac{\text{rad}}{\text{s}}.$$

$$I_i = ?$$

Yechilishi. Sterjen aylanayotganda magnit kuch chiziqlarini kesadi (201- rasm). Har bir aylanishda u $\Phi_0 = B \cdot S$ magnit oqimini kesib o'tadi, bu yerda S – radiusi l bo'lgan doiraning yuzi: $S = \pi l^2$. Sterjen sekundiga n marta aylanadi, binobarin, n marta ko'proq magnit oqimini kesadi. Oqim bir sekunda shunday o'zgariganidan, o'zgarish kattaligi o'z-induksiya EYK ga teng bo'ladi:

$$I_i = -n\Phi_0 = -nB\pi l^2.$$

n aylanishlar soni bilan ω burchak tezlik o'zaro quyidagicha bog'langan:

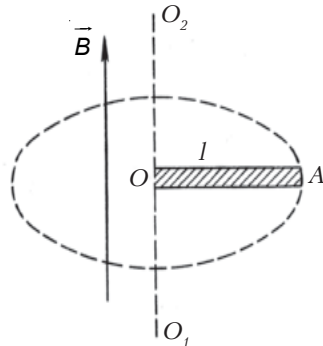
$\omega = 2\pi n$, bundan $n = \frac{\omega}{2\pi}$. U holda induksiya EYK uchun quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$I_i = -B\pi l^2 \frac{\omega}{2\pi} = -\frac{B\omega l^2}{2}.$$

$$\text{Hisoblash: } I_i = -\frac{5 \cdot 10^{-2} \text{ T} \cdot 1 \text{ m}^2 \cdot 20 \frac{1}{\text{s}}}{2} = -0,5 \text{ V}$$

$$|I_i| = 0,5 \text{ V}.$$

2- masala. 1 T induksiyali magnit maydonda oqimga perpendikular yo'nalishda harakatlanayotgan o'tkazgichda 1 A ga teng induksion tok hosil qilish uchun o'tkazgichning tezligi qanday bo'lishi kerak? O'tkazgich ko'ndalang kesimi $0,017 \text{ mm}^2$ bo'lgan mis simdan yasalgan.



201- rasm.

Berilgan : $I_i = 1\text{A}$; $B = 1\text{T}$; $\alpha = 90^\circ$; $S = 0,017\text{ m m}^2 =$
 $= 1,7 \cdot 10^{-8}\text{ m}^2$; $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8}\ \Omega \cdot \text{m}$.

$v - ?$

Yechilishi. Magnit maydonda harakatlanayotgan o'tkazgichda vujudga keladigan induksiya EYK quyidagicha ifodalanadi:

$$I_i = vBl \sin \alpha, \quad \text{bundan } v = \frac{I_i}{Bl \sin \alpha}.$$

Zanjirning bir qismiga oid Om qonuniga binoan (ushbu holda EYK manbai bo'lmagani uchun):

$$I_i = I_i \cdot R,$$

bu yerda R — o'tkazgichning qarshiligi, u

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

ifodadan topiladi. Shunday qilib, v uchun umumiy holda quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$v = \frac{I_i \cdot \rho}{BS \sin \alpha}.$$

Hisoblash : $v = \frac{1 \cdot \text{A} \cdot 1,7 \cdot 10^{-8}\ \Omega \cdot \text{m}}{1\text{T} \cdot 1,7 \cdot 10^{-8}\text{ m}^2 \cdot 1} = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$

3- masala. Radiusi 1 sm bo'lgan 100 o'ramdan iborat solenoid elektromagnit qutblari orasiga uning magnit maydon kuch chiziqlariga perpendikular qilib joylashtirilgan. Solenoid uchlariga ulangan asbob solenoid magnit maydondan chiqarilganda $6,28 \cdot 10^{-6}\text{ C}$ induksiyalangan zaryad miqdorini ko'rsatadi. Solenoidning qarshiligi $50\ \Omega$, asbobning ichki qarshiligi $1550\ \Omega$. Magnit qutblari orasidagi magnit maydon induksiyasini aniqlang.

Berilgan : $a = 1\text{sm} = 10^{-2}\text{ m}$; $N = 100$; $\Delta q = 6,28 \cdot 10^{-6}\text{ C}$; $R = 50\ \Omega$; $r = 1550\ \Omega$.

$B - ?$

Yechilishi. Solenoid maydondan chiqarilganda uning har bir o'ramida $I_{i0} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ induksion EYK paydo bo'ladi, bunda: Δt — solenoidni maydondan chiqarish vaqti, $\Delta\Phi$ — solenoiddan o'tgan magnitning qutblararo fazosidagi magnit oqimining o'zgarishi. Butun g'altakda hosil bo'lgan induksiya EYK:

$$I_i = N \cdot I_{i0} = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

Magnit oqimining o'zgarishi quyidagiga teng: $\Delta\Phi = \Phi_0 - \Phi$, bunda $\Phi_0 = BS$ – solenoid maydonda turganda undan o'tadigan oqim, $\Phi = 0$ – solenoid maydondan chiqarilgandagi oqim. Solenoidning kesim yuzi $S = \pi a^2$ ga teng, demak, $\Delta\Phi = B\pi a^2$ va

$$|I_i| = N \frac{B\pi a^2}{\Delta t}. \quad (a)$$

Zanjirda tok manbai bo'lmagani tufayli va solenoid bilan asbob ketma-ket ulanganligini e'tiborga olib, zanjirning bir qismiga oid Ohm qonuniga binoan

$$|I_i| = I_i (R + r),$$

deb yozish mumkin, bunda I_i – induksion tok kuchi. $I_i = \frac{\Delta q}{\Delta t}$ bo'lgani uchun quyidagi munosabatni hosil qilamiz:

$$|I_i| = \frac{\Delta q}{\Delta t} (R + r).$$

Bu munosabatni (a) bilan taqqoslab,

$$\frac{\Delta q}{\Delta t} (R + r) = \frac{B\pi a^2}{\Delta t} \cdot N$$

tenglamani yozishimiz mumkin. Bu tenglamani B ga nisbatan yechsak,

$$B = \frac{\Delta q (R + r)}{N \pi a^2}$$

ga ega bo'lamiz.

$$\text{Hisoblash: } B = \frac{6,28 \cdot 10^{-6} \text{ C} (50 + 1550) \Omega}{3,14 \cdot 10^{-4} \cdot 100 \text{ m}^2} = 0,32 \text{ T}.$$

4- masala. Solenoid chulg'ami ko'ndalang kesimi 1 mm^2 bo'lgan N ta mis sim o'ramidan iborat. Solenoidning uzunligi 25 sm va uning qarshiligi $0,2 \Omega$. Solenoidning induktivligini toping.

$$\text{Berilgan: } S = 1 \text{ mm}^2 = 10^{-6} \text{ m}^2; \quad l = 25 \text{ sm} = 0,25 \text{ m};$$

$$\frac{R = 0,2 \Omega; \quad \rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}}{L = ?}$$

Yechilishi. Solenoidning induktivligi quyidagi ifodaga teng:

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

bu yerda: N – solenoiddagi barcha o‘ramlar soni, S – solenoidning kesim yuzi, l – solenoidning uzunligi. Masalaning shartida muhit berilmagan, shuning uchun $\mu = 1$ (muhitni havo yoki vakuum) deb

olamiz. Barcha o‘ramlar soni $N = \frac{l_1}{\pi D}$ bo‘ladi, bunda l_1 – simning uzunligi, D – solenoidning diametri. Qarshilikning o‘tkazgich o‘lchamlariga bog‘lanish formulasidan $l_1 = \frac{RS}{\rho}$ ekanligini topamiz. Solenoidning

ko‘ndalang kesim yuzi formulasi $S = \frac{1}{4} \pi D^2$ dan foydalanib hamda N va l_1 ning ifodalarini L ning ifodasiga keltirib qo‘yib, quyidagi munosabatni hosil qilamiz:

$$L = \mu\mu_0 \frac{R^2 S^2}{4\pi l \rho^2}.$$

Hisoblash:

$$L = 1 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{H}}{\text{m}} \cdot \frac{0,04 \Omega^2 \cdot 10^{-12} \text{m}^4}{4\pi \cdot 0,25 \text{m} \cdot 2,89 \cdot 10^{-16} \Omega^2 \cdot \text{m}^2} = 5,6 \cdot 10^{-5} \text{H}.$$

5- masala. Uzunligi 50 sm va ko‘ndalang kesim yuzi 2 sm² bo‘lgan solenoid $2 \cdot 10^{-7}$ H induktivlikka ega. Solenoid ichiga temir o‘zak

kiritilgandagi magnit maydon energiyasining zichligi $10^{-3} \frac{\text{J}}{\text{m}^3}$ bo‘lishi uchun solenoiddan qancha tok o‘tishi kerak?

Berilgan: $l = 50$ sm = 0,5m; $S = 2$ sm² = $2 \cdot 10^{-4}$ m²; $\mu = 400$;

$$L = 2 \cdot 10^{-7} \text{H}; w_m = 10^{-3} \frac{\text{J}}{\text{m}^3}.$$

$I = ?$

Yechilishi. Magnit maydon energiyasining zichligi

$$w_m = \frac{W_m}{V} = \frac{LI^2}{2V}$$

ga teng, bu yerda: I – solenoiddagi tok kuchi, L – uning induktivligi, V – solenoid ichidagi magnit maydonning hajmi, u $V = IS$ ga teng, u holda

$$w_m = \frac{1}{2} \frac{LI^2}{S}$$

bo'ladi. Bu ifodadan I ni topamiz:

$$I = \sqrt{\frac{2LSw_m}{L}}$$

$$\text{Hisoblash: } I = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,5 \text{ m} \cdot 2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot 10^{-3} \frac{\text{J}}{\text{m}^3}}{2 \cdot 10^{-7} \text{ H}}} = 1 \text{ A.}$$



MUSTAQIL YECHISH UCHUN MASALALAR

112. Bir jinsli magnit maydonda maydon induksiyasi vektoriga parallel o'q atrofida simdan yasalgan ramka aylanmoqda. Unda tok induksiyalanadimi?

113. Yashin tushganda ba'zan u tushgan yerdan bir necha metr masofadagi sezgir elektr o'lchov asboblarning ishdan chiqqanligi va yoritish tarmoqlaridagi saqlagichlarning erib ketganligi aniqlangan. Nima uchun shunday?

114. O'tkazgich konturi kesib o'tadigan magnit oqimi bir tekis 0,8 Wb ga o'zgaranda, induksiya EYK 1,6 V ga teng bo'lgan. Magnit oqimining o'zgarish vaqtini toping. O'tkazgichning qarshiligi 0,32 Ω bo'lsa, induksion tok kuchi qanday?

115. Nima uchun elektromagnit chulg'amiga tok ulanganda undagi tok to'la kuchiga birdaniga erisha olmaydi?

116. Nima uchun elektromagnitni tok manbayidan tez uzganda undagi tok kuchi tezda keskin o'sib ketadi (ba'zan shu darajadagi, shikast yetkazishi ham mumkin)?

117. Induksiyasi 0,1 T bo'lgan bir jinsli maydonda kuch chiziqlariga perpendikular ravishda uzunligi 0,5 m bo'lgan o'tkazgich $2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ tezlik bilan harakatlanganda hosil bo'lgan induksiya EYK ni aniqlang.

118. 100 o'ram simli solenoidda magnit oqimi 0,005 s davomida $5 \cdot 10^{-3}$ dan $2,5 \cdot 10^{-3}$ Wb gacha bir tekisda o'zgaragan. Induksiya EYK ni toping.

119. Magnit induksiyasi 2 T bo'lgan magnit maydonda kuch chiziqlariga perpendikular yo'nalishda qarshiligi 12 Ω bo'lgan g'altak $0,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ tezlik bilan harakatlanganda 24 V induksiya EYK hosil bo'ladi. G'altakdagi simning uzunligini va undan o'tuvchi tokning kuchini aniqlang.

120. 1 m uzunlikdagi gorizontaal sterjen uning bir uchidan o'tgan o'q atrofida aylanayotir. Induksiyasi $5 \cdot 10^{-6}$ T bo'lgan magnit maydon kuch chiziq-lari aylanish o'qiga parallel. Sterjen sekundiga necha marta aylanganda uning uchlaridagi potensilar farqi 10^{-3} V ga teng bo'ladi?

121. Uzunligi 20 sm va ko'ndalang kesimining yuzi 30 sm^2 bo'lgan solenoidga sim o'rami kiygizilgan. Solenoid 320 o'ramga ega, undan 3 A tok o'tadi. Solenoiddagi tok 0,001 s davomida uzilsa, kiygizilgan o'ramda o'rtacha qancha EYK induksiyalanadi?

122. G'altakdan o'tayotgan tokni 0,1 s davomida noldan 5 A gacha bir tekisda orttirganimizda 50 V o'zinduksiya EYK hosil bo'ladi. G'altakning induktivligini toping.

123. Uzunligi 20 sm va diametri 3 sm bo'lgan g'altak 400 o'ramga ega bo'lib, undan 2 A tok o'tadi. G'altakning induktivligi va g'altakning ko'ndalang kesimidan o'tayotgan magnit oqimi topilsin.

124. G'altakning uzunligini va ko'ndalang kesimini o'zgarishsiz saqlagan holda uning induktivligini qanday kamaytirish mumkin?

125. Diametri 4 sm bo'lgan g'altakning induktivligi 0,001 H bo'lishi uchun 0,6 mm diametrli simdan unga bir qavat zich qilib necha o'ram o'rash kerak?

126. Po'lat g'olada magnit induksiya 0,75 T. Toklar hosil qilgan magnit maydonning induksiyasi $1,88 \cdot 10^{-3}$ T bo'lsa, po'latning magnit singdiruvchanligi qanday?

127. Akkumulatorlar batareyasiga ikkita zanjir parallel qilib ulangan. Ularning birida cho'g'lanma lampa, ikkinchisida esa katta elektromagnit bor. Ikkala zanjirdagi toklarning kattaligi bir xil. Qaysi zanjir uzilganda kuchli-roq uchqun chiqaradi? Nima uchun?

128. Uzunligi 60 sm va ko'ndalang kesim yuzi 4 sm^2 bo'lgan solenoidning induktivligi $4 \cdot 10^{-7} \text{ H}$ ga teng. Solenoid ichida magnit maydon energiyasining zichligi $2 \cdot 10^{-3} \frac{\text{J}}{\text{m}^3}$ bo'lishi uchun solenoiddan o'tayotgan tok kuchi qanday bo'lishi kerak?

129. Silliq shisha sirtida yotgan kub shaklidagi temir bo'lagi shu shisha sirtida yotgan magnitga tortilib, shisha sirti bo'yicha siljimoqda. U qanday harakatda bo'ladi: tekis harakatmi, tezlanuvchan harakatmi yoki tekis tezlanuvchan harakatmi?

130. Po'lat sim (spitsa) bor. Spitsadan boshqa hech narsadan foydalanmay, uning magnitlangan yoki magnitlanmaganligini qanday bilish mumkin?

131. Ikkita bir xil po'lat brusoklar bo'lib, ulardan biri magnitlangan. Bu brusoklardan boshqa hech narsadan foydalanmay, ularning qaysi biri magnitlanganligini qanday aniqlash mumkin?



TEBRANISHLAR VA TO'LQINLAR

VII bob. MEXANIK TEBRANISHLAR VA TO'LQINLAR

98-§. Tebranishlar haqida umumiy ma'lumotlar

Turli xil mexanik harakatlar orasida takrorlanib turadigan harakatlar ham uchraydi. Masalan, moddiy nuqtaning aylana bo'ylab tekis harakati takrorlanuvchi harakatdir: tekis aylanayotgan moddiy nuqta har bir yangi aylanishida bir xil vaziyatlardan o'tadi, shu bilan birga, avvalgi tartibda va o'shanday tezlik bilan o'tadi. Ana shunday takrorlanuvchanlik xossasiga soat mayatnigining tebranishi, ko'priklarning, musiqa asboblarida torlarning titrashi, yurak urishi va nafas olish, paroxodlarning suv to'lqinlarida tebranishi, o'zgaruvchan tok va uning elektromagnit maydoni, atomda elektronlarning harakati, qattiq jism kristall panjarasi tugunlaridagi ionlarning harakati va hokazolar egadir.

Teng vaqtlar ichida takrorlanib turadigan harakatlar davriy harakat deyiladi.

Harakati o'rganilayotgan sistemada jismlar orasidagi o'zaro ta'sir kuchlarini *ichki kuchlar* deyiladi. Sistemadagi jismlarga shu sistemadan tashqaridagi jismlarning ta'sir kuchi *tashqi kuchlar* deb ataladi.

Tebranma harakat qila oladigan sistema shunday bir vaziyatga egaki, u o'z holicha bu vaziyatda qoldirilganda istalgancha uzoq vaqt davomida bo'la oladi. Bu muvozanat vaziyatdir.

Sistema to'g'ri chiziq yoki yoy bo'ylab harakatlanib, o'zining muvozanat vaziyatidan goh bir tomonga, goh qarama-qarshi tomonga chiqishidan iborat davriy harakat *tebranma harakat* yoki *tebranishlar* deyiladi.

Tebranayotgan sistemaga ko'rsatilayotgan ta'sirning xarakteriga qarab, tebranishlar *erkin* (yoki *xususiy*) va *majburiy* tebranishlarga bo'linadi.

Bir marta turtki berilgandan yoki muvozanat vaziyatidan chiqarilgandan so'ng ichki kuchlar ta'sirida yuzaga keladigan

tebranishlar erkin tebranishlar deyiladi. Bunga misol qilib ipga osib qo'yilgan sharcha (mayatnik)ning tebranishini olish mumkin. Tebranishlar vujudga kelishi uchun sharchani turtib yuborish yoki uni muvozanat holatidan chetga chiqarib qo'yib yuborish kifoya.

Davriy ravishda o'zgaruvchan tashqi kuchlarning ta'siri ostida bo'ladigan tebranishlar majburiy tebranishlar deb ataladi. Bunga ichki yonuv dvigateli silindridagi porshenning tebranishlari, tikuv mashinasi ignasining va mokisining tebranishlari, ustidan odamlar tartibli qadam tashlab o'tayotgan ko'priknig tebranishlari misol bo'la oladi.

Tebranishlar fizik tabiati va murakkablik darajasi jihatidan *mexanik, elektromagnit, elektromexanik* va hokazo tebranishlarga bo'linadi. Bu tebranishlarning hammasi umumiy qonuniyatlar asosida ro'y beradi. Eng sodda tebranish bu *garmonik tebranish*dir. Garmonik tebranish shunday hodisaki, unda *tebranuvchi kattalik* (masalan, mayatnikning og'ishi) *vaqtga bog'liq ravishda sinus yoki kosinus qonuni bo'yicha o'zgaradi.* Bu turdagi tebranish quyidagi ikki sababga ko'ra juda muhimdir: *birinchidan*, tabiatda va texnikada uchraydigan tebranishlar o'z xarakteri bilan garmonik tebranishlarga yaqin; *ikkinchidan*, boshqacha ko'rinishdagi (vaqtga qarab o'zgaradigan) davriy tebranishlarni ustma-ust tushgan bir necha garmonik tebranishlar sifatida tasavvur qilish mumkin. Biz mexanik garmonik tebranishlar ustida to'xtalib o'tamiz.

99-§. Garmonik tebranishlar

Garmonik tebranishlarning asosiy qonuniyatlari va xarakteristikallari bilan moddiy nuqtaning aylana bo'ylab tekis harakatida tanishish qulay. Faraz qilaylik, M moddiy nuqta x_0 radiusli aylana bo'ylab soat strelkasi harakati yo'nalishiga teskari yo'nalishda o'zgarmas ω_0 burchak tezlik bilan harakatlanayotgan bo'lsin (202-rasm). U holda bu M nuqtaning vertikal diametrga bo'lgan proyeksiyasi — N nuqta O muvozanat vaziyati atrofida davriy tebranishda bo'ladi. Bu proyeksiyaning siljish kattaligi ($x = ON$) x_0 dan $-x_0$ gacha chegarada davriy o'zgaradi. Vaqtning ixtiyoriy t paytida siljish kattaligi

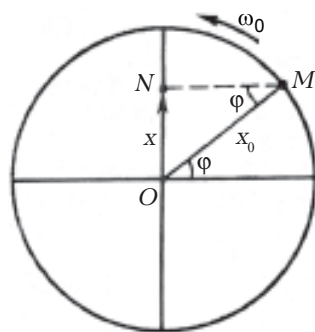
$$x = x_0 \sin \varphi \quad (168)$$

ekanligi rasmdan ko'rinib turibdi.

Moddiy nuqtaning aylanish davri T , uning sekundiga aylanishlar soni ν , burchak tezligi ω_0 va radiusining burilish burchagi φ o'zaro quyidagi

$$\varphi = \omega_0 t = \frac{2\pi}{T} t = 2\pi\nu t$$

munosabatlar bilan bog'langanligi mexanika kursidan ma'lum. (168) formulani yana quyidagi ko'rinishlarda yozish mumkin:



202- rasm.

$$x = x_0 \sin \omega_0 t, \quad (169)$$

$$x = x_0 \sin \frac{2\pi}{T} \cdot t, \quad (170)$$

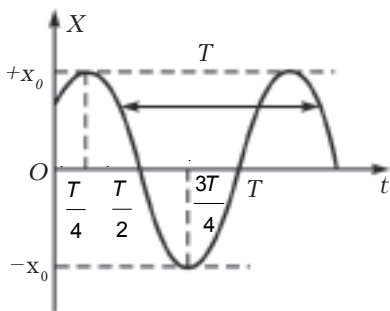
$$x = x_0 \sin 2\pi\nu t. \quad (171)$$

Vaqtning ixtiyoriy t paytida siljish kattaligini aniqlaydigan (169), (170) va (171) formulalar garmonik tebranishlar tenglamalarining turli ko'rinishidir. x siljish 0 muvozanat vaziyatdan yuqoriga yo'nalgan bo'lsa — musbat, pastga yo'nalgan bo'lsa — manfiy bo'ladi. Muvozanat vaziyatdan maksimal siljishning x_0 ga teng bo'lgan absolut qiymati *tebranish amplitudasi* deyiladi.

Tebranma harakatlarni bayon qilishda T , ν va φ fizik kattaliklar aylanma harakatda atalganidan boshqacha nomlar bilan ataladi: T — *tebranish davri*, ν — *tebranishlar chastotasi*, ω_0 — *siklik* yoki *doiraviy chastota* va φ — *tebranish fazasi* deb ataladi. Bu kattaliklarning birliklari, albatta, avvalgicha qoladi.

$\varphi = \omega_0 t$ tebranish fazasining fizik ma'nosi shundan iboratki, u vaqtning istalgan paytidagi siljishni, ya'ni tebranayotgan sistemaning muvozanat vaziyatiga nisbatan holatini belgilaydi. (169) tenglamada boshlang'ich ($t = 0$) paytda tebranish fazasi nolga teng bo'ladi (ya'ni sekundomer N nuqta 0 muvozanat vaziyati orqali musbat yo'nalishda o'tgan paytda ishga tushirilgan). Agar boshlang'ich paytda faza biror φ_0 qiymatga ega bo'lsa (ya'ni sekundomerni ishga tushirish paytida N nuqta muvozanat vaziyatidan biroz og'ishga ulgurgan bo'lsa), u holda garmonik tebranma harakat tenglamasi quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$x = x_0 \sin (\varphi + \varphi_0) = x_0 \sin (\omega t + \varphi_0), \quad (172)$$



203- rasm.

bu yerda φ_0 — *boshlang'ich faza* deb ataladi va u boshlang'ich paytda jism muvozanat vaziyatiga nisbatan qanday holatda ekanligini ko'rsatadi. Vaqt sanog'ining boshlang'ich paytini tanlash ixtiyoriy bo'lgani uchun $\varphi_0 = 0$ deb olish mumkin.

Garmonik tebranma harakat grafigini hosil qilish uchun x siljishning vaqtning turli qiymatlarida (170) formulaga asosan hisoblab topib, jadval tuzamiz:

t	0	$\frac{T}{4}$	$\frac{T}{2}$	$\frac{3T}{4}$	T
x	0	$+x_0$	0	$-x_0$	0

So'ng absissa o'qiga t vaqtini, ordinata o'qiga x siljishni qo'yib, hosil qilingan nuqtalarni silliq egri chiziq bilan tutashtirsak, garmonik tebranishning grafigi — sinusoidani hosil qilamiz (203- rasm). Tebranma harakat davriy ravishda takrorlangani uchun har bir T davrda xuddi shunday sinusoida kesmasi qo'shilib boraveradi va u absissa o'qi yo'nalishida chegaralanmagan holda davom etishi mumkin.

Agar M nuqtaning gorizontaal diametriga proyeksiyasini olsak (202-rasmga q.), bu proyeksiyaning siljishi vaqtga qarab kosinus qonuni bo'yicha o'zgaradi, garmonik tebranma harakat grafigi esa kosinusoida ko'rinishida bo'ladi va (169—172) formulalar kosinus orqali ifodalanadi.

100-§. Garmonik tebranishlarda tezlik va tezlanish

Garmonik tebranma harakat qiluvchi moddiy nuqtaning siljishi (169) formula bilan ifodalanishini ko'rdik, bunda boshlang'ich faza nolga teng. Moddiy nuqtaning tezligi son jihatdan x siljishdan vaqt bo'yicha olingan hosilaga, ya'ni $v = \frac{dx}{dt}$ ga teng. Shu ifodani topaylik:

$$v = \frac{dx}{dt} = \omega_0 x_0 \cos \omega_0 t$$

yoki trigonometrik funksiyalarni keltirish qoidalarini nazarga olib, shunday yozish mumkin:

$$v = \omega_0 x_0 \sin \left(\omega_0 t + \frac{\pi}{2} \right). \quad (173)$$

Bu tenglamadan tebranish tezligi vaqt o'tishi bilan o'zgarib turishi ko'rinib turibdi. Demak, tebranma harakat tezlanish bilan bo'ladi, uning tezlanishini tezlik ifodasi (173) ni differensiallash yo'li bilan topish mumkin:

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2 x}{dt^2} = \omega_0^2 x_0 \cos \left(\omega_0 t + \frac{\pi}{2} \right) = \omega_0^2 x_0 \sin (\omega_0 t + \pi). \quad (174)$$

(169) formulani nazarga olib, tezlanishni siljish orqali ifodalash mumkin:

$$a = \omega_0^2 x_0 \sin (\omega_0 t + \pi) = -\omega_0^2 x_0 \sin \omega_0 t = -\omega_0^2 x. \quad (175)$$

Bu ifodadan ko'rinadiki, tezlanishning ishorasi hamma vaqt siljishning ishorasiga teskari bo'ladi. Demak, tezlanish hamma vaqt tebranayotgan nuqtaning muvozanat vaziyatiga tomon yo'nalgan bo'ladi.

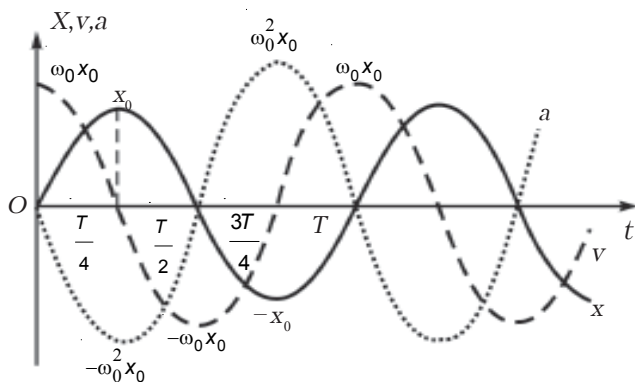
(169), (173) va (174) formulalarni taqqoslasak, quyidagi xulosalar kelib chiqadi:

1) garmonik tebranma harakat qilayotgan nuqtaning v tezligi va a tezlanishi ham x siljishi kabi bir xil ω_0 chastota va bir xil T davr bilan garmonik tebranadi;

2) siljishning amplitudasi x_0 ga, tezlikniki $\omega_0 x_0$ ga va tezlanishniki $\omega_0^2 x_0$ ga teng;

3) tezlik siljishdan faza bo'yicha $\frac{\pi}{2}$ ga, tezlanish siljishdan faza bo'yicha π ga ilgari ketadi. Demak, siljish bilan tezlanish qarama-qarshi fazalarda o'zgarar ekan. Bu shuni anglatadiki, siljish eng katta musbat qiymatga erishganda tezlanish eng katta manfiy qiymatga erishadi va aksincha.

t	x	v	a
0	0	$\omega_0 x_0$	0
$\frac{\tau}{4}$	x_0	0	$-\omega_0^2 x_0$
$\frac{\tau}{2}$	0	$-\omega_0 x_0$	0
$\frac{3\tau}{4}$	$-x_0$	0	$\omega_0^2 x_0$
T	0	$\omega_0 x_0$	0



204- rasm.

Endi tezlik va tezlanishning bir davr ichidagi o'zgarishini qarab chiqaylik. Buning uchun v va a ning turli paytlardagi qiymatlarini x ning ham o'sha paytlardagi qiymatlari bilan taqqoslab jadval tuzamiz va shu jadvalga asosanib $v = f(t)$ va $a = f(t)$ grafiklarini chizamiz (204-rasm). Rasmda taqqoslash uchun $x = f(t)$ grafigi ham keltirilgan. Jadvaldan va rasmdan ko'rinadiki, tebranuvchi nuqta muvozanat vaziyatidan o'tayotganda tezlik absolut maksimal $|v|_{\max} = \omega_0 x_0$ qiymatga ega bo'ladi; nuqta eng ko'p chetlangan $x = \pm x_0$ joylarda, tezlik nolga teng. Tezlanish, aksincha, muvozanat vaziyatidan o'tishda nolga teng va eng ko'p chetlanish joylarida $|a|_{\max} = \omega_0^2 x_0$ absolut maksimal qiymatga ega bo'ladi.

101-§. Erkin garmonik tebranishlar

100-§ da garmonik tebranma harakatda tezlanish vaqtga bog'liq ravishda o'zgarishini ko'rdik. Binobarin, bunday tebranish o'zgaruvchan kuch ta'sirida yuzaga keladi. O'zgaruvchan \vec{F} kuch ta'sirida m massali sistema, (masalan, moddiy nuqta) a tezlanish bilan garmonik tebranayapti, deb faraz qilaylik. U holda (175) formulani nazarga olib, kuch ifodasini quyidagicha yozish mumkin:

$$\vec{F} = m\vec{a} = -m\omega_0^2 \vec{x} = -k\vec{x}, \quad (176)$$

bu yerda

$$k = m\omega_0^2 \quad (177)$$

deb belgilab oldik (\vec{x} siljish vektor kattalik ekanini eslatib o'tamiz).

Shunday qilib, garmonik tebranishni yuzaga keltiruvchi kuch siljishga proporsional va siljishga qarama-qarshi yo‘nalgan bo‘lar ekan. Shu munosabat bilan garmonik tebranishga yana quyidagicha ta’rif berish mumkin: *siljishga proporsional va unga qarama-qarshi yo‘nalgan kuch ta’siri ostida bo‘ladigan tebranishlar garmonik tebranishlar deb ataladi*. Bu kuch sistemani muvozanat vaziyatiga qaytarishga intiladi, shuning uchun uni *qaytaruvchi kuch* deb yuritiladi. Masalan, elastiklik kuchi qaytaruvchi kuch bo‘lishi mumkin, chunki bu kuch ham siljishga proporsional va ishorasi qarama-qarshi. Elastiklik xususiyatiga ega bo‘lmagan kuch ham xuddi shunday qonuniyatga bo‘ysunishi, ya’ni — kx ga teng bo‘lishi mumkin, bu yerda k doimiy musbat kattalik bo‘lib, uni *qaytaruvchi kuch ko‘effitsiyenti* deb ataladi. Odatda, bunday ko‘rinishdagi kuchlar, ularning tabiatidan qat’iy nazar, *kvazielastik* (go‘yo elastik) *kuchlar* deb ataladi.

Shunday qilib, erkin garmonik tebranishlar elastik yoki kvazielastik kuchlar ta’sirida bo‘lar ekan. Agar erkin tebranishlarda tebranish amplitudasi vaqt o‘zgarishi bilan o‘zgarmasa, bunday erkin tebranishlarni sistemaning *xususiy tebranishlari* deb ataladi. Tebranayotgan sistemaning m massasi va k ko‘effitsiyenti ma’lum bo‘lsa, (177) formuladan foydalanib, erkin garmonik tebranishlarning chastotasini va davrini aniqlash mumkin:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (178)$$

va

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}. \quad (179)$$

ω_0 ni sistema *xususiy tebranishlarining davriy chastotasi* deyiladi, uning qiymati massaga va sistemaning parametrlari bilan aniqlanadigan k ko‘effitsiyentga bog‘liq bo‘ladi.

102- §. Matematik mayatnik

Matematik mayatnik deb, vaznsiz va cho‘zilmaydigan uzun ipga osilgan va og‘irlik kuchi ta’sirida tebranma harakat qila oladigan moddiy nuqtaga aytiladi. Uzun ingichka ipga osilgan kichikroq og‘ir sharcha matematik mayatnik bo‘la oladi. Mayatnikning muvo-

zanat vaziyatidan og'ishini ipning vertikal bilan hosil qilgan φ burchagi orqali xarakterlash mumkin (205-rasm). Mayatnik B muvozanat vaziyatida bo'lganda moddiy nuqtaga qo'yilgan $\vec{P} = m\vec{g}$ og'irlik kuchi bilan ipning \vec{N} taranglik kuchi o'zaro muvozanatlashadi. Agar mayatnikni kichik φ burchakka chetlatsak, ipning \vec{N} taranglik kuchi endi $m\vec{g}$ og'irlik kuchining \vec{F}_1 tashkil etuvchisi bilan muvozanatlashadi. Og'irlik kuchining \vec{F}_2 tashkil etuvchisi esa qaytaruvchi kuch vazifasini bajaradi va tebranishlarni yuzaga keltiradi.

φ burchak kichik bo'lganda BC yoy x siljishga teng bo'lgan BC vatar bilan ustma-ust tushadi, deb hisoblash mumkin. Shtrixlangan uchburchaklarning o'xshashligidan foydalanib, \vec{F}_2 qaytaruvchi kuchning kattaligini aniqlaylik. Rasmdan

$$\frac{l}{x} = \frac{mg}{F_2},$$

bu yerda $l = OB$ — ipning osilish nuqtasidan moddiy nuqtagacha (sharchaning og'irlik markazigacha) bo'lgan masofa bo'lib, uni matematik *mayatnikning uzunligi* deyiladi. Bu munosabatdan F_2 ni topsak,

$$F_2 = mg \frac{x}{l} \quad (180)$$

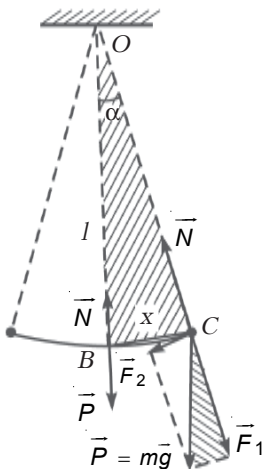
bo'ladi. Berilgan mayatnik uchun $\frac{mg}{l}$ — o'zgarmas kattalik, uni k harfi bilan belgilab olamiz, ya'ni

$$k = \frac{mg}{l}. \quad (181)$$

Qaytaruvchi kuch hamma vaqt siljishga qarama-qarshi yo'nalganligini nazarga olsak, (180) formulani quyidagicha yoza olamiz:

$$F_2 = -kx.$$

Demak, muvozanat vaziyatidan kichik burchakka og'dirilgan matematik mayatnikning og'irlik kuchi ta'siridagi tebranishlari garmonik tebranishlar bo'lar ekan. Shuning uchun og'irlik kuchini kvazielastik kuch, deb hisoblash mumkin.



205- rasm.

(177) va (181) formulalardan matematik mayatnikning xususiy tebranishlari chastotasi va davri quyidagicha bo'ladi:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{l}} \quad (182)$$

va

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}. \quad (183)$$

Oxirgi formuladan ko'rinadiki, kichik og'ishlarda matematik mayatnik tebranishlarining davri kvadrat ildiz ostidagi mayatnik uzunligiga to'g'ri, og'irlik kuchi tezlanishiga teskari proporsional bo'lib, mayatnik tebranishlarining amplitudasi va massasiga bog'liq emas.

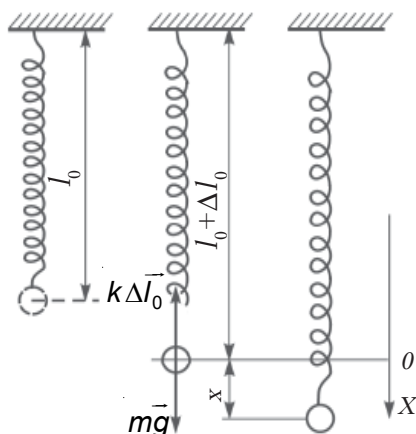
103- §. Prujinali mayatnik

Prujinaga osib qo'yilgan m massali yuk (sharcha) dan iborat sistemani qarab chiqaylik (206-rasm). Bunda prujinaning massasi yukning massasiga nisbatan juda kichik bo'lsin. Bunday sistemani *prujinali mayatnik* deyiladi.

Deformatsiyalanmagan prujinaning uzunligi l_0 bo'lsin. Agar prujinaga yuk osilsa, u $l_0 + \Delta l_0$ uzunlikkacha cho'ziladi va unda elastiklik kuchi paydo bo'ladi. Uncha katta bo'lmagan cho'zilishlar uchun Guk qonuni o'rinli. Yukning muvozanat vaziyatida $m\vec{g}$ og'irlik kuchi $k\Delta\vec{l}_0$ elastiklik kuchi bilan muvozanatlashadi:

$$|m\vec{g}| = |k\Delta\vec{l}_0|, \quad (a)$$

bu yerda k — prujinaning bikrligi. Yukning muvozanat vaziyatidan og'ishini x koordinata bilan xarakterlaymiz, bunda X o'qni pastga vertikal yo'naltirib, o'qning nolini yukning muvozanat vaziyati bilan ustma-ust tushiramiz (206- rasmga q.). Agar yukni muvozanat vaziyatidan x masofaga siljitsak, u holda pru-



206- rasm.

jina $\Delta l_0 + x$ ga uzaygan bo‘ladi va yukka ta’sir qilayotgan natijaviy, ya’ni qaytaruvchi kuch

$$F = mg - k(\Delta l_0 + x)$$

bo‘ladi. (a) muvozanat shartini hisobga olsak, u holda

$$F = -kx$$

ifoda kelib chiqadi. Demak, prujinali mayatnik elastiklik kuchi ta’siri ostida garmonik tebranma harakat qiladi, uning tebranish chastotasi (178) formula bilan, tebranish davri esa (179) formula bilan aniqlanadi.

Shunday qilib, Guk qonuni o‘rinli bo‘lgan deformatsiyalarda prujinali mayatnikning tebranish davri yuk massasining kvadrat ildizdan chiqarilgan qiymatiga to‘g‘ri proporsional bo‘lib, prujinaning uzunligiga va mayatnikning tebranish amplitudasiga bog‘liq emas.

104-§. Garmonik tebranishlar energiyasi

Garmonik tebranayotgan sistema kinetik va kvazielastik kuchlar ta’siridan yuzaga keluvchi potensial energiyaga ega bo‘ladi.

Agar tebranayotgan sistemaning massasi m va tezligi v bo‘lsa, (173) formulani nazarga olib, kinetik energiya uchun quyidagi ifodani yozish mumkin:

$$E_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{m}{2} \omega_0^2 x_0^2 \sin^2 \left(\omega_0 t + \frac{\pi}{2} \right) = \frac{m}{2} \omega_0^2 x_0^2 \cos^2 \omega_0 t. \quad (184)$$

Kvazielastik kuchlar ta’siridan hosil bo‘lgan potensial energiya ham elastik deformatsiyalangan jismning potensial energiyasi singari ifodalanadi, ya’ni siljish kvadratiga proporsional bo‘ladi. U holda (169) formulani nazarga olib, potensial energiya uchun quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$E_p = \frac{kx^2}{2} = \frac{k}{2} x_0^2 \sin^2 \omega_0 t.$$

Biroq $k = m\omega_0^2$ ekanligini hisobga olsak,

$$E_p = \frac{m}{2} \omega_0^2 x_0^2 \sin^2 \omega_0 t. \quad (185)$$

(184) va (185) formulalardan ko‘rinishicha, garmonik tebranayotgan sistemaning kinetik va potensial energiyalari davriy ravishda o‘zgarib turadi.

Sistemaning to'liq energiyasi uning kinetik va potensial energiyalarining yig'indisiga teng bo'ladi, ya'ni:

$$E = E_k + E_p = \frac{m}{2} \omega_0^2 x_0^2 \cos^2 \omega_0 t + \frac{m}{2} \omega_0^2 x_0^2 \sin^2 \omega_0 t = \frac{m}{2} \omega_0^2 x_0^2. \quad (186)$$

Shunday qilib, garmonik tebranishning to'liq energiyasi o'zgarmas va amplitudaning kvadratiga to'g'ri proporsional ekan.

Sistema muvozanat vaziyatidan o'tayotganda uning tezligi maksimal bo'ladi (bu hol vaqtning $t = 0; \frac{1}{2}T$; T qiymatlariga mos kelib (204-rasmga q.), bunda $\cos^2 \omega_0 t = 1$ bo'ladi) va kinetik energiya o'zining

$$E_{k,\max} = \frac{m\omega_0^2}{2} x_0^2 \quad (187)$$

maksimal qiymatiga erishadi. Sistema muvozanat holatdan maksimal chetlashganda esa (bu hol vaqtning $t = \frac{T}{4}; \frac{3}{4}T$ qiymatlariga mos

keladi va $\sin^2 \frac{2\pi}{T} t = 1$ bo'ladi) potensial energiya o'zining

$$E_{p,\max} = \frac{m\omega_0^2}{2} x_0^2 \quad (188)$$

maksimal qiymatini oladi.

(186), (187) va (188) formulalarni taqqoslasak, agar qarshilik kuchlari bo'lmasa, tebranayotgan sistemaning to'liq mexanik energiyasi uning muvozanat vaziyatidan eng katta og'ish paytidagi potensial energiyasiga yoki muvozanat vaziyatidan o'tayotgan paytidagi kinetik energiyasiga teng bo'ladi, degan xulosa kelib chiqadi.

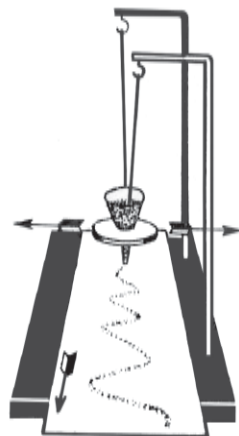
Shunday qilib, garmonik tebranayotgan sistemaning kinetik va potensial energiyalari davriy ravishda o'zaro aylanib turadi.

105- §. So'nuvchi tebranishlar

Yuqorida ko'rib o'tilgan prujinali mayatnikning yoki matematik mayatnikning erkin tebranishlari faqat ishqalanish bo'lmagan taqdirdagina garmonik tebranishlar bo'la oladi. Lekin real tebranuvchi sistemada hamma vaqt ishqalanish, aniqrog'i qarshilik



207- rasm.



208- rasm.

kuchlari mavjud. Masalan, mayatnik osib qo'yilgan joydagi ishqalanish kuchi yoki sistema tebranayotgan muhitning qarshilik kuchi shular jumlasidandir. Qarshilik kuchlarini yengish uchun sistema ish bajaradi va tebranishlar energiyasining bir qismini sarflaydi. Shuning uchun tebranish energiyasi tebranish jarayonida kamayib boradi. Tebranish energiyasi amplituda kvadratiga to'g'ri proporsional bo'lgani uchun ((186) formulaga q.) tebranishlar amplitudasi ham tobora kamayib boradi va energiya zaxirasi tugagach, tebranishlar butunlay to'xtaydi. Bunday tebranishlar so'nuvchi tebranishlar deb ataladi. 207- rasmda so'nuvchi tebranishlar uchun x siljishning t vaqtga bog'liqlik grafigi tasvirlangan. Bunday bog'lanishni qumdonli mayatnik vositasida hosil qilish mumkin (208- rasm). Teshigi juda tor bo'lgan voronkani uzun ipga mayatnik singari osib, unga quruq qum to'ldiriladi va tebrantirib yuboriladi. Agar voronkaning ostidan keng qog'oz tasmani uning tebranishlariga perpendikular yo'nalishda tortib tekis harakatlantirilsa, voronkadan tushayotgan qum oqimi mayatnik siljishining vaqtga bog'liq o'zgarishini grafik ravishda tasvirlovchi qum izini hosil qiladi.

Muhitning qarshiligi qancha katta bo'lsa, amplituda shuncha tez kamayadi va tebranishlar tez to'xtaydi. Masalan, havoda mayatnik ancha uzoq vaqt davomida tebranishi mumkin, biroq o'shancha energiya berilgan o'sha mayatnikning o'zi suv ichida bir-ikki martadan ortiq tebrana olmaydi.

So'nuvchi tebranishlarda tebranish amplitudasi vaqt o'tishi bilan kamayib borishi sababli harakat to'la takrorlanmaydi. Shuning uchun so'nuvchi tebranishlar garmonik bo'lmaydi, ular hatto davriy

harakat ham bo'lmaydi. Biroq energiyaning sarflanishi (so'nish) juda sekinlik bilan amalga oshsa, bunday so'nuvchi tebranishlarni biror taqribiylik bilan *davriy harakat*, deb hisoblash mumkin.

106- §. Majburiy tebranishlar

Erkin tebranishlardan amalda kamdan kam foydalaniladi. Istalgancha uzoq vaqt davom eta oladigan so'nmas tebranishlar esa katta amaliy ahamiyatga ega. So'nmas tebranishlarni hosil qilish uchun tebranuvchi sistema energiyasining kamayishini chetdan to'ldirib turish lozim. Buning eng qulay usuli sistemaga davriy o'zgarib turuvchi kuch bilan ta'sir etib turishdir.

Davriy o'zgarib turuvchi tashqi kuch ta'sirida bo'ladigan tebranishlarni *majburiy tebranishlar* deb ataladi, bu kuchni *majbur etuvchi kuch*, tebranuvchi sistemani esa *majburiy sistema* deyiladi.

Odatda, majbur etuvchi kuch sifatida vaqt bo'yicha sinus yoki kosinus qonuni bilan o'zgaradigan kuchdan foydalaniladi. Bunday kuchning ifodasi

$$F = F_0 \sin \omega t$$

ko'rinishda bo'ladi, bu yerda: F_0 — kuchning amplituda (maksimal) qiymati, ω — kuch tebranishlarining doiraviy chastotasi.

Majburiy tebranishlar amplitudasini aniqlaylik. Majburiy tebranuvchi sistemalarga majbur etuvchi kuchdan tashqari, tebranishlarni yuzaga keltiruvchi kvazielastik kuchlar hamda muhitning qarshilik kuchi ta'sir ko'rsatadi. Sistemaning harakat tenglamasini yozishda bu kuchlarni ham hisobga olish lozim. Agar tebranishlar amplitudasi yetarli darajada kichik bo'lsa, qarshilik kuchini tezlikka proporsional, deb hisoblash mumkin. U holda, Nyutonning ikkinchi qonuniga ko'ra, harakat tenglamasi quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$ma = -kx - rv + F_0 \sin \omega t, \quad (189)$$

bu yerda m , x , v va a — mos ravishda, tebranuvchi sistemaning massasi, siljishi, tezligi va tezlanishi, r — muhitning qarshilik koeffitsiyenti. Hisobni soddalashtirish maqsadida qarshilik kuchini juda kichik deb, uni nazarga olmasak, u holda

$$ma = -kx + F_0 \sin \omega t \quad (190)$$

bo'ladi.

Tezlanishning (175) ifodasini va (177) formulani nazarga olib, (190) munosabatni quyidagicha yozamiz:

$$-m\omega^2 x = -m\omega_0^2 x + F_0 \sin \omega t$$

va bundan majburiy tebranishlardagi siljishni topish mumkin:

$$x = \frac{F_0}{m(\omega_0^2 - \omega^2)} \sin \omega t. \quad (191)$$

Bu ifodani garmonik tebranma harakat tenglamasi [(169) formula] bilan taqqoslasak, majburiy tebranishlar amplitudasining ifodasi quyidagicha bo'ladi:

$$x_0 = \frac{F_0}{m(\omega_0^2 - \omega^2)}. \quad (192)$$

Shunday qilib, (191) va (192) formulalardan quyidagi xulosalar kelib chiqadi:

1) majburiy tebranishlar majbur etuvchi kuch chastotasiga teng chastotali garmonik tebranishlardan iborat ekan;

2) majburiy tebranishlarning x_0 amplitudasi majbur etuvchi kuchning F_0 amplitudasiga to'g'ri proporsionaldir;

3) majburiy tebranishlarning x_0 amplitudasi majbur etuvchi kuchning ω chastotasi bilan sistemaning ω_0 xususiy tebranishlari chastotasi orasidagi munosabatga bog'liq bo'ladi;

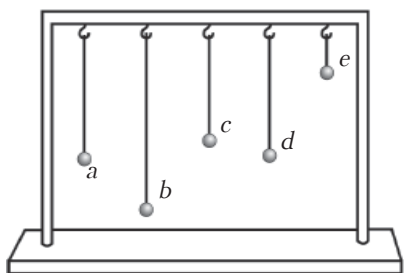
4) berilgan tebranuvchi (aniq ω_0 xususiy chastotaga ega bo'lgan) sistema uchun x siljish $F_0 \sin \omega t$ majbur etuvchi kuchga proporsional bo'ladi.

107-§. Rezonans

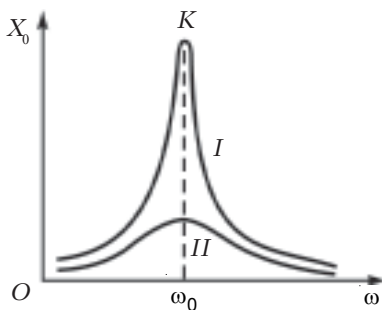
Majburiy tebranishlar amplitudasining majbur etuvchi kuch chastotasiga bog'liqligi [(192) formulaga q.] shunga olib keladiki, bunda ω chastota ω_0 chastotaga yaqinlashganda, ya'ni $\omega \rightarrow \omega_0$ bo'lganda, $\omega_0^2 - \omega^2$ ayirma nolga intilib, x_0 amplituda esa cheksiz katta ($x_0 \rightarrow \infty$) bo'ladi. Haqiqatda esa ishqalanish tufayli majburiy tebranishlar amplitudasi chekli bo'lib qoladi.

Sistemaning majburiy tebranishlari chastotasi xususiy tebranishlari chastotasiga yaqinlashganda tebranishlar amplitudasining keskin ortib ketish hodisasi rezonans deb ataladi. Rezonans ro'y beradigan chastota rezonans chastota deb ataladi.

Rezonans hodisasini quyidagi oddiy tajribada kuzatish mumkin. Taxta reykgaga turli uzunlikli mayatniklarni osib (209- rasm), ulardan birini, masalan, d mayatnikni muvozanat vaziyatidan chetga



209- rasm.



210- rasm.

chiqarib, reyka joylashgan tekislikka perpendikular tekislikda tebratib yuboramiz. Bu tebranishlar reyka uzatiladi va reyka d mayatnikning tebranish chastotasiga teng chastota bilan boshqa mayatniklarga ta'sir etadi. Bunda uzunligi d mayatnikning uzunligiga teng bo'lgan faqat a mayatnikning kuchli tebranishini ko'ramiz. Bu mayatniklar o'zaro rezonansda bo'ladi, b va c mayatniklar juda kichik amplituda bilan tebranadi, eng qisqa e mayatnik esa deyarli tebranmaydi, bunga sabab uning xususiy tebranishlar chastotasi d mayatnikning chastotasidan katta farq qiladi.

Mexanik rezonansga AQSH da 1940- yil 7- noyabrda kuzatilgan hodisa ham yaqqol misol bo'la oladi. Gap shundaki, Takom bo'g'ozi ustiga qurilgan Takom osma ko'prigidan o'tib turgan avtomobillarning haydovchilari ajoyib hodisaning guvohi bo'ldilar. Shamol ancha sekin (taxminan $17 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ tezlik bilan) esib turganiga qaramay, ko'priknig qatnov qismi minutiga 36 marta tebranib, tebranishlar amplitudasi 1,5 m ga yetar edi. Ko'priq orqali harakat to'xtatilganiga qaramay, tebranishlar amplitudasi ortib borar edi. Markaziy mahkamlagichlar yorilib ketdi, shundan keyin ko'priknig tebranishlari o'z xarakterini o'zgartirdi, ularning amplitudasi keskin kattalashib, ko'p o'tmasdan ko'priq buzilib, uning parchalari Takom bo'g'oziga qulab tushdi.

Bunday hodisaning sababchisi — ko'prikada yuz bergan mexanik rezonans bo'ldi. Uni shamol ta'sirida ko'prikdan davriy ajralayotgan havo uyurmaları vujudga keltirgan. Bu uyurmaların ajralish chastotasi ko'priknig xususiy tebranishlar chastotalaridan biriga mos kelgan, shamol energiyasi ko'priq tomonidan effektiv yutilishi hisobiga tebranishlar amplitudasi keskin ortib, ulkan qurilmaning fojiali buzilishiga olib kelgan.

210-rasmda tasvirlangan I egri chiziq majburiy tebranishlar amplitudasining davriy o'zgarib turuvchi majbur etuvchi kuchning

chastotasiga bog'liq holda qanday o'zgarishini ko'rsatadi. Bunday egri chiziq rezonans egri chizig'i deb ataladi. Rasmdan ko'rinadiki, majburiy tebranishlar chastotasi sistemaning xususiy tebranishlar chastotasiga teng bo'lib qolganda amplituda eng katta qiymatga erishadi. Rasmda shunday amplituda K nuqtaning ordinatasi bilan ko'rsatilgan. Majbur etuvchi kuchning chastotasi rezonans chastotadan o'ng tomonga yoki chap tomonga o'zgarganda tebranishlarning amplitudasi kamayadi.

Tebranuvchi sistemadagi ishqalanish rezonans hodisasiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Ishqalanish qancha ko'p bo'lsa, tebranishlar amplitudasi shuncha kichik bo'ladi. 210-rasmda tasvirlangan I egri chiziq kam ishqalanishli sistemaga, II egri chiziq esa ko'p ishqalanishli sistemaga mos keladi.

Rezonans hodisasi har qanday tabiatli tebranishlarda kuzatiladi. Bu hodisadan, masalan, akustikada tovushni kuchaytirishda, radiotexnikada elektr tebranishlarni kuchaytirishda keng foydalaniladi.

Ba'zi hollarda rezonans zararli ta'sir ko'rsatadi. Rezonans tufayli inshootlar (ko'priklar, tayanchlar, binolar va boshqalar), mexanizmlar (masalan, stanoklar, motorlar va boshqalar) kuchli titrashi natijasida yemirilishi mumkin. Shuning uchun inshootlarni qurishda mexanizmlarning tebranish chastotalari bilan inshootlarning xususiy tebranishlari orasida katta farq bo'lishi ta'minlanadi.

108- §. Avtotebranishlar

Yuqorida qayd etib o'tilganidek, so'nmas tebranishlarni hosil qilishda tebranish energiyasining isrofini doim to'ldirib turish uchun tebranuvchi sistemaga tashqi davriy kuch ta'sir etib turishi kerak. So'nmas tebranishlarni hosil qilishning bu usulidan tashqari, texnikada keng qo'llaniladigan boshqa usuli ham mavjud.

Agar erkin tebrana oladigan sistemaning ichida doimiy energiya manbai bo'lsa va bu energiya manbai hisobidan sistemaning tebranish jarayonida yo'qotib boradigan energiyasini qoplash uchun zarur energiyani kelib turishini sistemaning o'zi ta'minlab tura olsa, bunday sistemada so'nmas tebranishlar vujudga keladi. Bu usul bilan hosil qilingan so'nmas tebranishlarni avtotebranishlar, sistemani esa avtotebranuvchi sistema deb ataladi.

Doimiy energiya manbalari tebranishlar davriga nisbatan juda qisqa vaqt oraliqlarida ishlatiladi. Shu bilan birga, bu energiya manbayidan kerakli paytlardagina sistemaning o'zi avtomatik tarzda foydalanadi.

Avtotebranuvchi sistemaga mayatnikli soat misol bo'la oladi. Soatda ko'tarilgan yukning potensial energiyasi doimiy energiya manbai bo'ladi va uni anker mexanizm yordamida ishga tushiriladi (211-rasm). Yuqoriga ko'tarilgan yuk qiya tishli xrapovikni aylantiradi. Mayatnikning gorizontal o'qqa o'rnatilgan yuqori uchiga ikki uchida ikkita chiqiq'i bo'lgan yoysimon *a b* planka o'rnatilgan. Bu plankani *a n k e r* deb ataladi. Anker yordamida mayatnik xrapovikning aylanishini va unga biriktirilgan soat strelkalarining yurishini boshqaradi.



211- rasm.

211-rasmda tasvirlangan vaziyatda xrapovikning tishi ankerning *b* chiqiq'iga tiralib, uni yuqoriga ko'taradi va mayatnikni chapga itaradi. Mayatnik muvozanat vaziyatidan o'tishi bilan *b* chiqiq' xrapovikdan bo'shaydi va *a* chiqiq' xrapovik tishiga tiralib qoladi. Natijada mayatnik o'ng (qarama-qarshi) tomonga itariladi. Demak, mayatnik bir tebranish davri davomida manbadan ikki marta energiya oladi va shu bilan energiyaning manbadan kelib turishini o'zi boshqaradi.

Tashqi davriy kuch ta'sirida yuzaga keladigan majburiy tebranishlar bilan avtotebranishlar orasidagi farq shundan iboratki, agar majburiy tebranishlarning chastotasi tashqi kuch chastotasi bilan bir xil, tebranishlar amplitudasi ana shu kuch amplitudasiga bog'liq bo'lsa, avtotebranishlarning chastotasi va amplitudasi shu tebranuvchi sistemaning o'z xususiyatlariga bog'liq bo'ladi.



Takrorlash uchun savollar

1. Tebranma harakat deb qanday harakatga aytiladi? Davriy harakat deb-chi? Misollar keltiring. 2. Qanday tebranishlarni garmonik tebranishlar deyiladi? Erkin tebranishlar deb-chi? 3. Garmonik tebranishlarni xarakterlovchi asosiy kattaliklar (amplituda, davr, chastota va faza) ning ta'rifini aytib bering. 4. Garmonik tebranishlar uchun siljish, tezlik va tezlanish ifodalarini yozing va ularning vaqtga bog'liqlik grafiklarini chizing. 5. Matematik mayatnikni va uning tebranish qonunlarini tushuntiring. 6. Prujinali mayatnikni va uning tebranish qonunlarini tushuntiring. 7. Mayatnikli

soatlardan vaznsizlik sharoitlarida foydalanish mumkinmi? 8. Nima uchun erkin tebranishlar soʻnuvchi boʻladi? Soʻnmas tebranishlarni qanday hosil qilish mumkin? 9. Majburiy tebranishlar qanday olinadi? Majburiy tebranishlarning amplitudasi qanday kattaliklarga bogʻliq? 10. Rezonans hodisasi nima? Rezonans egri chizigʻini chizing va tushuntiring. 11. Texnikada rezonans hodisasining ahamiyati nimadan iborat? Misollar keltiring. 12. Avtotebranishlar qanday hosil qilinadi? Majburiy tebranishlar bilan avtotebranishlar orasida qanday farq bor?



MASALA YECHISH NAMUNALARI

1-masala. Garmonik tebranishlar amplitudasi 50 mm, davri 4 s va boshlangʻich fazasi $\frac{\pi}{4}$ · 1) Mazkur tebranishning tenglamasini yozing. 2) $t_1 = 0$ va $t_2 = 1,5$ s boʻlganda tebranayotgan nuqtaning muvozanat vaziyatidan siljishini toping.

Berilgan: $x_0 = 50 \text{ mm} = 5 \cdot 10^{-2} \text{ m}$; $T = 4 \text{ s}$; $\varphi_0 = \frac{\pi}{4}$; $t_1 = 0$;
 $t_2 = 1,5 \text{ s}$.

Topish kerak: $x = f(t) - ?$ $x_1 - ?$ $x_2 - ?$

Yechilishi. Garmonik tebranishlar tenglamasi quyidagi koʻrinishga ega edi:

$$x = x_0 \sin(\omega_0 t + \varphi_0) = x_0 \sin\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t + \varphi_0\right).$$

Masalaning shartiga koʻra, berilgan kattaliklarning qiymatlarini tenglamaga keltirib qoʻysak, tebranish tenglamasi quyidagi koʻrinishga keladi:

$$x = 0,05 \sin\left(\frac{2\pi}{4} \cdot t + \frac{\pi}{4}\right) \text{ m} = 0,05 \sin\left(\frac{\pi}{2} t + \frac{\pi}{4}\right) \text{ m}.$$

Bu tenglamaga vaqtning $t_1 = 0$ va $t_2 = 1,5$ s qiymatlarini qoʻyib, tebranayotgan nuqtaning muvozanat vaziyatidan shu vaqtlarga mos kelgan siljishini topamiz:

$$t_1 = 0 \text{ da } x_1 = 0,05 \sin\left(-\frac{\pi}{4}\right) \text{ m} = 0,05 \cdot 0,707 \text{ m} = 0,035 \text{ m},$$

$$t_2 = 1,5 \text{ s da } x_2 = 0,05 \sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{3}{2} + \frac{\pi}{4}\right) \text{ m} = 0,05 \sin \pi \text{ m} = 0.$$

2-masala. Harakat tenglamasi $x = 2 \sin \pi(t + 0,5)$ sm koʻrinishda boʻlgan kichik jism tebranma harakat qilmoqda. Tebranishning amplitudasi, davri, boshlangʻich fazasi, shuningdek, tezlik va tezlanishning maksimal qiymatini toping.

Berilgan: $x = 2 \sin\pi(t + 0,5)$ sm = 0,02 sin $\pi(t + 0,5)$ m.

Topish kerak: $x_0 - ? T - ? \varphi_0 - ? v_{\max} - ? a_{\max} - ?$

Yechilishi. Jismning harakat tenglamasini quyidagi ko‘rinishda yozamiz:

$$x = 0,02 \sin(\pi t + 0,5 \pi) \text{ m}$$

va uni garmonik tebranma harakat tenglamasi

$$x = x_0 \sin\left(\frac{2\pi}{T} t + \varphi_0\right)$$

bilan taqqoslasak, $x_0 = 0,02$ m, $\frac{2\pi}{T} t = \pi t$ dan $T = 2$ s;
 $\varphi_0 = 0,5\pi$.

Tebranishlar tezligi [(173 a) formulaga q.)]

$$v = \frac{dx}{dt} = 0,02 \cdot \pi \cos(\pi t + 0,5\pi) \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

ifodadan, tezlanish esa [(174) formulaga q.)]

$$a = \frac{dv}{dt} = -0,02\pi^2 \sin(\pi t + 0,5\pi) \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

ifodadan hisoblab topilishi mumkin.

$\cos(\pi t + 0,5\pi) = 1$ bo‘lganda tezlik maksimal, $\sin(\pi t + 0,5\pi) = 1$ bo‘lganda tezlanish maksimal qiymatga ega bo‘ladi. Binobarin,

$$v_{\max} = 0,02\pi \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad \text{va} \quad a_{\max} = -0,02\pi^2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

3- masala. Bikrligi $250 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ bo‘lgan prujinaga bog‘lab qo‘yilganda 16 s ichida 20 marta tebranadigan yukning massasini toping.

Berilgan: $k = 250 \frac{\text{N}}{\text{m}}$, $t = 16$ s, $N = 20$.

Topish kerak: $m - ?$

Yechilishi. Prujinali mayatnikning tebranish davri formulasi [(179) formulaga q.]

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

dan yukning massasi

$$m = \frac{kT^2}{4\pi^2}$$

ga teng bo'ladi. Masalaning shartida berilgan kattaliklarga asosan, yukning tebranish davri

$$T = \frac{t}{N}$$

bo'ladi. Binobarin, yukning massasi:

$$m = \frac{kt^2}{4\pi^2 N^2}.$$

$$\text{Hisoblash: } m = \frac{250 \frac{N}{m} \cdot (16s)^2}{4 \cdot 3,14^2 \cdot 20^2} = 4\text{kg}$$

4- masala. Bir xil vaqt ichida bitta matematik mayatnik 50 marta, ikkinchisi 30 marta tebranadi. Agar ulardan biri ikkinchisidan 32 sm qisqa bo'lsa, ularning uzunliklarini toping.

Berilgan: $t_1 = t_2 = t$; $N_1 = 50$, $N_2 = 30$, $\Delta l = 32 \text{ sm} = 0,32 \text{ m}$.

Topish kerak: $l_1 - ?$ $l_2 - ?$

Yechilishi. Matematik mayatniklarning tebranish davrlari mos ravishda

$$T_1 = \frac{t_1}{N_1} \text{ va } T_2 = \frac{t_2}{N_2}$$

ifodalar orqali aniqlanishi mumkin, bundan

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{N_2}{N_1},$$

ya'ni tebranish davrlarining nisbati tebranishlar sonlarining nisbatiga teskari proporsional bo'ladi. Matematik mayatnikning tebranish davri uning uzunligi bilan quyidagicha bog'lanishda:

$$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{l_1}{g}} \text{ va } T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{l_2}{g}} = 2\pi\sqrt{\frac{l_1 + \Delta l}{g}},$$

bunda l_1 va $l_2 = l_1 + \Delta l$ lar, mos ravishda, birinchi va ikkinchi mayatniklarning uzunligi. Bu ifodalardan tebranishlar davrlarining nisbatini topsak,

$$\frac{T_1}{T_2} = \sqrt{\frac{l_1}{l_1 + \Delta l}}$$

bo'ladi. Demak,

$$\frac{N_2}{N_1} = \sqrt{\frac{l_1}{l_1 + \Delta l}}$$

deb yozish mumkin. Bu munosabatlarning ikki tomonini kvadratga ko'tarib, l_1 ga nisbatan yechsak, u holda birinchi mayatnikning uzunligi uchun

$$l_1 = \frac{N_2^2 \Delta l}{N_1^2 - N_2^2}$$

ifodani hosil qilamiz.

$$\text{Hisoblash: } l_1 = \frac{30^2 \cdot 0,32 \text{ m}}{50^2 - 30^2} = 0,18 \text{ m,}$$

$$l_2 = 0,18 \text{ m} + 0,32 \text{ m} = 0,50 \text{ m.}$$

5-masala. Massasi 20 g bo'lgan moddiy nuqta 10 sm amplituda bilan garmonik tebranmoqda. Qaytaruvchi kuchning koeffitsiyenti $0,18 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ ga teng bo'lsa, nuqtaga ta'sir qilayotgan maksimal kuchni toping. Nuqtaning siljishi 6 sm ga teng bo'lgan paytda uning tezlanishi, tezligi va potensial energiyasi qanday bo'ladi?

$$\begin{aligned} \text{Berilgan: } m &= 20 \text{ g} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ kg, } x_0 = 10 \text{ sm} = 10^{-1} \text{ m, } x = 6 \text{ sm} = \\ &= 6 \cdot 10^{-2} \text{ m, } k = 0,18 \frac{\text{N}}{\text{m}}. \end{aligned}$$

$$\text{Topish kerak: } F_{\max} - ? \quad a - ? \quad v - ? \quad E_p - ?$$

Yechilishi. Garmonik tebranma harakat qilayotgan nuqtaga x siljishga proporsional bo'lgan va unga qarama-qarshi yo'nalgan $\vec{F} = -k\vec{x}$ kvazielastik kuch ta'sir qiladi. Nuqtaning siljishi uning amplitudasiga teng bo'lgan paytda nuqtaga eng katta kuch ta'sir qiladi. Binobarin:

$$|\vec{F}_{\max}| = kx_0$$

bo'ladi. Nyutonning ikkinchi qonuniga asosan, kvazielastik kuch ta'sirida nuqtaning olgan tezlanishi quyidagiga teng bo'ladi:

$$a = \frac{F}{m} = -\frac{kx}{m}.$$

Moddiy nuqtani muvozanat vaziyatidan chiqarib, uni x kattalikdagi siljishga og'dirish uchun tashqi kuchlarning bajargan ishi tebranayotgan nuqtaning potensial energiyasiga teng bo'ladi. Elastiklik kuchlarining bajargan

ishi son jihatidan $\frac{kx^2}{2}$ ga teng, demak, potensial energiya ham

$$E_p = \frac{kx^2}{2}$$

ga teng bo'ladi.

Moddiy nuqtaning tebranish tezligini kinetik energiya ifodasidan aniqlash mumkin, ya'ni

$$E_k = \frac{mv^2}{2}, \text{ bundan } v = \sqrt{\frac{2E_k}{m}}.$$

Kinetik energiya esa to'la energiyadan potensial energiyaning ayirmasiga teng, lekin to'la energiya vaqtning har qanday paytida eng chekka vaziyatdagi potensial energiyaga teng bo'lgani uchun quyidagicha yozish mumkin:

$$E_k = E - E_p = \frac{kx_0^2}{2} - \frac{kx^2}{2} = \frac{k}{2}(x_0^2 - x^2).$$

Shuning uchun moddiy nuqtaning tezligi ifodasi quyidagi ko'rinishga keladi:

$$v = \sqrt{\frac{k(x_0^2 - x^2)}{m}}.$$

$$\text{Hisoblash: } F_{\max} = 0,18 \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot 0,1 \text{ m} = 18 \cdot 10^{-3} \text{ N},$$

$$a = - \frac{0,18 \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot 0,06 \text{ m}}{0,02 \text{ kg}} = -0,54 \frac{\text{m}}{\text{s}^2},$$

$$E_p = \frac{1}{2} \cdot 0,18 \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot (0,06)^2 \text{ m}^2 = 3,24 \cdot 10^{-4} \text{ J}.$$

$$v = \sqrt{\frac{0,18 \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot [(0,1)^2 - (0,06)^2] \text{ m}^2}{0,02 \text{ kg}}} = 0,24 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$



MUSTAQIL YECHISH UCHUN MASALALAR

132. Amplitudasi 10 sm, tebranish davri 0,5 s, boshlang'ich fazasi nolga teng bo'lgan garmonik tebranish tenglamasini yozing.

133. $x = 7 \sin(0,5 \pi t)$ tenglama bo'yicha tebranma harakat qilayotgan nuqta harakat boshlanganidan qancha vaqt o'tgach, muvozanat vaziyatidan maksimal siljishga teng yo'lni o'tadi?

134. Moddiy nuqta tebranishi $x = 15 \cos \pi(t + 1)$ qonun bo'yicha sodir bo'ladi. Tebranuvchi nuqtaning amplitudasi, davri, maksimal tezligi va maksimal tezlanishini toping.

135. Uzunligi 1 m bo'lgan matematik mayatnikning tebranish davri 1 s. Uzunligi 0,5 m bo'lgan matematik mayatnikning tebranish davri qanday bo'ladi?

136. Uzunligi 25 sm bo‘lgan matematik mayatnik minutiga 60 marta tebranadi. Erkin tushish tezlanishini toping.

137. Prujinaga bog‘langan sharchani muvozanat holatidan 1 sm surib qo‘yib yuborilgan. Agar sharchaning tebranish chastotasi 5 Hz bo‘lsa, u 2 sekundda qancha yo‘l bosadi?

138. Massasi 100 g bo‘lgan yuk prujina ta‘siri ostida 2 Hz chastota bilan tebranadi. Prujinaning bikrligini toping.

139. Agar ipga osilgan metall sharcha muvozanat vaziyatidan o‘tganda uning harakat tezligi $140 \frac{\text{sm}}{\text{s}}$ bo‘lsa, shu sharcha qanday balandlikka ko‘tarila oladi?

140. Massasi 10 g va uzunligi 100 sm bo‘lgan mayatnik o‘z muvozanat holatidan 60° burchakka og‘dirilib, qo‘yib yuborilgan. Mayatnikning harakat boshidagi potensial energiyasini va muvozanat holatdan o‘tishdagi kinetik energiyasini toping.

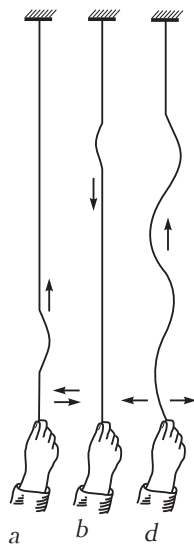
141. 400 g massali yuk bikrligi $250 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ bo‘lgan prujinaga bog‘langan holda tebranmoqda. Tebranishlar amplitudasi 15 sm. Tebranishlarning chastotasini, to‘la mexanik energiyasini va harakatning eng katta tezligini toping.

109- §. Elastik to‘lqinlar

Har qanday (qattiq, suyuq va gazsimon) jismning zarralari orasida o‘zaro tutinish kuchlari mavjud bo‘lib, zarralar bir-biriga nisbatan siljiganda elastiklik kuchlari yuzaga keladi. Shu sababli qattiq, suyuq va gaz holatdagi muhit elastik muhit deb ataladi.

Agar elastik muhitning biror joyidagi zarra tebranma harakatga keltirilsa, u holda elastiklik kuchlari tufayli zarraning tebranishlari muhitning qo‘shni zarralariga uzatiladi. Biror vaqtdan so‘ng tebranishlar butun muhitga tarqaladi. Mexanik tebranishlarning muhitda tarqalish jarayoni mexanik to‘lqin deb ataladi.

To‘lqin tarqalayotgan muhitning zarralari to‘lqin bilan birga ko‘chmaydi, ular faqat o‘z muvozanat holatlari atrofida tebranib turadi, xolos. Barcha zarralarning tebranishi turli fazalar bilan bo‘ladi: zarra tebranish markazidan qancha uzoqda joylashgan bo‘lsa, u shuncha kech tebrana boshlaydi, ya‘ni uning tebranishi faza jihatdan shuncha ko‘p orqada qoladi.



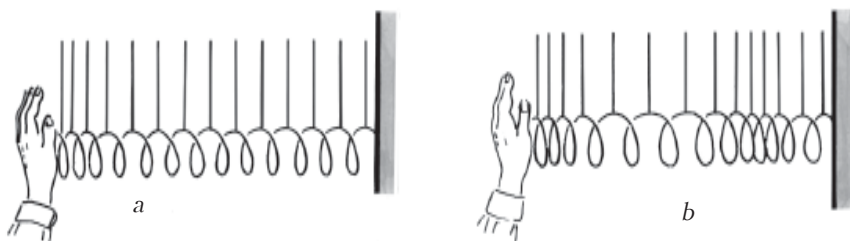
212- rasm.

Tebranishlarning tarqalishini quyidagi tajriba yordamida kuzatish mumkin. Aytaylik, bir uchi mahkamlangan uzun rezina shnur berilgan bo'lsin. Agar shnurning ikkinchi uchidan biroz tortib turib, tebranma harakatga keltirilsa (shnur uchidan ushlab siltab yuborilsa), hosil bo'lgan bukilish shnur bo'ylab ma'lum bir tezlik bilan „chopadi“ (212-*a* rasm). Bukilish shnur mahkamlangan joyga borgach, orqaga qaytadi va qarama-qarshi yo'nalishda tarqala boshlaydi (212-*b* rasm). Agar shnurning uchini uzluksiz tebrantirib turilsa, shnur bo'ylab to'liqin tarqaladi (212-*d* rasm). Shnur qancha tarang tortilsa, to'liqin shuncha tez tarqaladi. To'liqinning tarqalishida faqat shnur shaklining o'zgarib turishini, biroq shnurning har bir qismi o'zining o'zgarmas muvozanat vaziyatiga nisbatan tebranishini kuzatish mumkin.

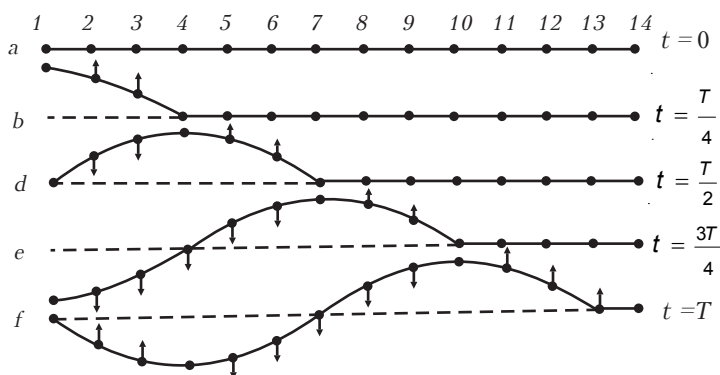
110- §. Ko'ndalang va bo'ylama to'liqinlar

Zarralarning tebranishi to'liqin tarqalayotgan yo'nalishga nisbatan qanday yo'nalganligiga qarab, to'liqinlar ko'ndalang va bo'ylama to'liqinlarga ajratiladi. Ko'ndalang to'liqinlarda muhitning zarralari to'liqin tarqalayotgan yo'nalishga perpendikular yo'nalishda tebranadi. Shnur bo'ylab tarqalayotgan to'liqin ko'ndalang to'liqin (212-rasmga q.) bo'ladi. Bo'ylama to'liqinda muhitning zarralari to'liqin tarqalayotgan yo'nalish bo'yicha tebranadi. Bo'ylama to'liqinni katta diametrli uzun yumshoq prujina yordamida kuzatish qulay. Prujining erkin uchiga kaft bilan urib qo'yilsa (213-*a* rasm), prujina siqilishining prujina bo'ylab tarqalishini kuzatish mumkin. Prujina uchiga ketma-ket bir necha marta urib, prujina bo'ylab ketma-ket tarqaluvchi siqilish va cho'zilishlardan iborat to'liqinlarni yuzaga keltirish mumkin (213-*b* rasm).

Muhitda ko'ndalang to'liqin tarqalgan vaqtdagi zarralarning harakati 214- rasmda tasvirlangan. Tinch turgan muhitda gorizontal chiziq bo'ylab joylashgan zarralar 1, 2, 3 va hokazo sonlar bilan



213- rasm.



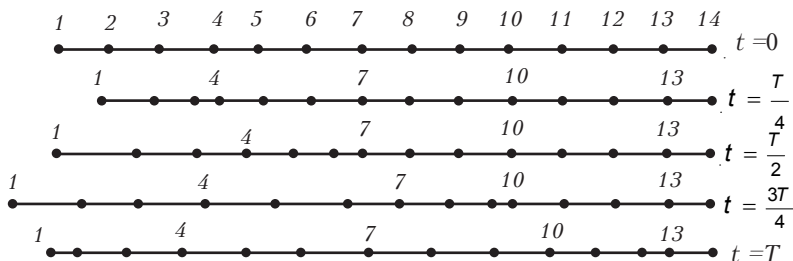
214- rasm.

belgilangan (214- a rasm). Boshlang'ich ($t = 0$) paytda 1-zarra yuqoriga yo'nalgan turtki ta'sirida muvozanat vaziyatidan chiqadi va yuqoriga harakatlana boshlaydi, bunda u 2- zarrani o'z ortidan, 2- zarra esa, o'z navbatida, 3- zarrani o'z ortidan ergashtirib ketadi va hokazo (rasmda zarralar harakatining yo'nalishi strelkalar bilan ko'rsatilgan). Zarralar orasidagi tutinish kuchlari hisobiga paydo bo'lgan elastiklik kuchlari ta'sirida 1-zarra o'z tezligini kamaytiradi

va chorak davr ($t = \frac{T}{4}$) o'tganidan keyin eng yuqori vaziyatni egallaydi (214-b rasm), 2- va 3- zarralar ham birmuncha siljiydi.

4- zarraga esa tebranish endigina yetib keladi. Yarim davr ($t = \frac{T}{2}$) o'tganidan keyin 4- zarra yuqoriga maksimal siljiydi (214- d rasm), 5- va 6- zarralar ham biroz siljiydi. 7- zarraga esa tebranish endigina yetib keladi. Bu vaqtda 3- va 2- zarralar endi pastga tusha boshlaydi, 1- zarra esa muvozanat vaziyatiga keladi. Birinchi davrning oxirida ($t = T$) tebranish 13- zarraga yetib keladi va u yuqoriga harakatlana boshlaydi (214- f rasm). 1-13- zarralar shunday joylashganki, ularning geometrik o'rni bitta do'nglik va bitta botiqlikdan iborat to'la to'lqinni hosil qiladi. Vaqtning o'tishi bilan zarralarning shunday harakati takrorlanaveradi, muhitda to'lqin tarqaladi. Ko'ndalang to'lqin ana shunday hosil bo'ladi.

Endi boshlang'ich paytda ($t = 0$) 1-zarra turtki natijasida zarralar joylashgan chiziq bo'ylab garmonik tebranishga keltirilgan bo'lsa, biroz kechikib, muhitning boshqa zarralari ham shunday tebrana boshlaydi (215- rasm). Yuqoridagiga o'xshash mulohazalarni bu holga ham tatbiq etish mumkin, biroq bunda yuqoriga va pastga siljishlar o'rniga o'ngga va chapga siljish haqida gapirish



215- rasm.

kerak. 215- rasmdan ko‘rinib turibdiki, bo‘ylama to‘lqin tarqalayotganda muhitda zarralarning to‘lqinning tarqalish yo‘nalishi bo‘ylab ko‘chuvchi navbatma-navbat zichlanish va siyraklanishlari yuzaga kelib turar ekan.

Shunday qilib, muhitning har bir zarrasi o‘zining muvozanat vaziyati atrofida tebranadi, to‘lqin esa garmonik tebranishlarning zarradan zarraga qanday uzatilishini ko‘rsatadi. To‘lqinning tarqalish yo‘nalishi *nur* deb ataladi. To‘lqin muhitda tebranma harakat energiyasini eltadi, muhit moddasi esa ko‘chmaydi. Demak, nur muhitda tebranma harakat energiyasining uzatilish yo‘nalishini ko‘rsatadi. Tebranma harakatga keltirilgan boshlang‘ich zarra (*vibrator*) deyiladi. Vibratorning energiyasi zarradan zarraga tarqalib, to‘xtovsiz kamayib boradi va to‘lqin jarayon borgan sari so‘nib, oxiri to‘xtab qoladi. Uzluksiz to‘lqin jarayonni saqlab turish uchun vibratorga tashqaridan to‘xtovsiz energiya berib turish kerak.

111-§. To‘lqinning tarqalish tezligi. To‘lqin uzunligi

To‘lqin mavjud ekan, muhitning zarralari o‘zlarining muvozanat holatlari atrofida doim tebranib turadi. Shu bilan birga, turli zarralar faza bo‘yicha siljigan holda tebranadi.

Vaqtning ayni bir paytida siljish kattaligi va yo‘nalishi bir xil bo‘lgan zarralar bir xil fazada tebranadi. Masalan, 110-§ da ko‘rganimizdek, tebranishlar bir davr ichida 13-zarraga yetib borganida 1- va 13- zarralar aynan bir xil tebranadilar: 1- zarra muvozanat vaziyatida bo‘lib, yuqoriga tomon harakatlenganda (214-f rasimga q.) 13- zarra ham muvozanat vaziyatida bo‘ladi va yuqoriga tomon harakatlanadi.

Bir xil fazada tebranayotgan ketma-ket olingan ikki zarra orasidagi masofa to‘lqin uzunligi deb ataladi va λ (lambda) harfi

bilan belgilanadi. Ko'ndalang to'qlinda ikki qo'shni qavariqlik yoki botiqlik orasidagi masofa, bo'ylama to'qlinda esa ikkita qo'shni siyraklanish yoki zichlanish orasidagi masofa to'qlin uzunligi bo'ladi (214- va 215-rasmlarga q.).

To'qlin zarralarining tebranish davri T to'qlin davri deb, tebranish chastotasi ν to'qlin chastotasi deb yuritiladi. Bir davr davomida to'qlin λ masofaga siljiydi.

Elastik muhitda tebranishlar doimiy tezlik bilan tarqaladi. *To'qlin o'tgan yo'lining uning shu yo'lni o'tgan vaqtiga nisbati bilan o'lchanadigan kattalik to'qlinning tarqalish tezligi* yoki sodda qilib *to'qlin tezligi* deb ataladi:

$$\nu = \frac{\lambda}{T}. \quad (193)$$

T davr bilan ν chastota o'zaro $T = \frac{1}{\nu}$ formula orqali bog'langanligi uchun

$$\nu = \lambda \cdot \nu \quad (194)$$

bo'ladi. Shunday qilib, to'qlin tezligi to'qlin uzunligi bilan tebranishlar chastotasining ko'paytmasiga teng bo'ladi.

To'qlinning tarqalish tezligi uning eng muhim xarakteristikalaridan biridir. Tajribalar tebranishlar chastotasi juda katta bo'lmagan hollarda berilgan muhitda to'qlinning tarqalish tezligi chastotaga bog'liq bo'lmasligini va faqat muhitning holati va fizik xususiyatlari bilan aniqlanishini ko'rsatadi. To'qlin bir muhitdan ikkinchi muhitga o'tganda, boshqa fizik kattaliklar kabi, to'qlinning tarqalish tezligi ham o'zgaradi, ammo chastotasi o'zgarmaydi. Bundan to'qlin bir muhitdan ikkinchi muhitga o'tganida to'qlin uzunligi o'zgaradi, degan xulosa kelib chiqadi. Berilgan muhitda to'qlinning tezligi katta bo'lsa, ma'lum tebranishlar chastotasiga mos keluvchi to'qlin uzunligi ham katta bo'ladi.

Suyuqlik va gazlarning hajmi o'zgarganda elastiklik kuchlari maydonga keladi. Shuning uchun suyuqlik va gazlarda faqat bo'ylama to'qlinlar tarqalishi mumkin. Elastiklik kuchlari qattiq jismlarning shakli o'zgarganda ham, hajmi o'zgarganda ham vujudga keladi. Shu sababli, ularda bo'ylama to'qlinlar hamda ko'ndalang to'qlinlar tarqalishi mumkin. Barcha qattiq jismlarda bo'ylama to'qlinlarning tarqalish tezligi ko'ndalang to'qlinlarning tezligidan katta bo'ladi.

112-§. Yassi va sferik to‘lqinlar

Agar tebranish markazi tutash muhit ichida tebranayotgan bo‘lsa, aslida to‘lqin faqat bir yo‘nalish bo‘yicha emas, balki markazdan hamma tomonga tarqaladi va to‘lqin jarayon fazoning yangi-yangi sohalarini egallay boradi.

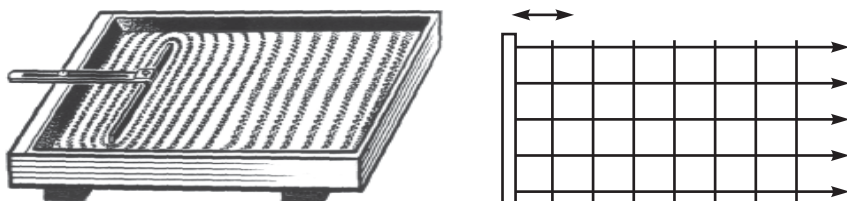
Vaqtning biror paytida tebranishlar yetib borgan nuqta (zarra) larning geometrik o‘rni to‘lqin fronti deyiladi. To‘lqin fronti fazoning to‘lqin jarayon tarqalgan qismidan tebranishlar hali yuzaga kelmagan qismini ajratadi.

Bir xil fazada tebranuvchi zarralarning geometrik o‘rni to‘lqin sirti deb ataladi. To‘lqin sirtini fazoning to‘lqin jarayon bo‘layotgan istalgan zarrasi orqali o‘tkazish mumkin. Demak, vaqtning har bir paytiga bitta to‘lqin fronti mos kelsa, to‘lqin sirtlari cheksiz ko‘p bo‘lar ekan. Binobarin, to‘lqin frontini to‘lqin sirtining xususiy holi deb qarash mumkin. To‘lqin sirtlari harakatlanmaydi (bir xil fazada tebranuvchi zarralarning muvozanat vaziyatlari orqali o‘tgan uchun), to‘lqin fronti doim ko‘chib boradi.

To‘lqin sirtlari turli shakllarda bo‘lishi mumkin. Eng sodda holda ular tekislik yoki sfera shaklida bo‘ladi. Bu hollarda to‘lqinlar, mos ravishda, yassi to‘lqinlar yoki sferik to‘lqinlar deyiladi. Yassi to‘lqinda to‘lqin sirtlari bir-biriga parallel bo‘lgan tekisliklardan, sferik to‘lqinda — konsentrik sferalardan iborat bo‘ladi.

Katta plastinkani plastinka sirtiga perpendikular yo‘nalishda tebrantirib, idishdagi suv sirtida yassi to‘lqinlarni hosil qilish mumkin (216- a rasm). Bunda to‘lqin sirtlari plastinka sirtiga parallel bo‘lgan yassi tekisliklar (nurlar to‘lqin sirtlariga nisbatan perpendikular yo‘nalgan parallel chiziqlar)dan iborat bo‘ladi (216- b rasm).

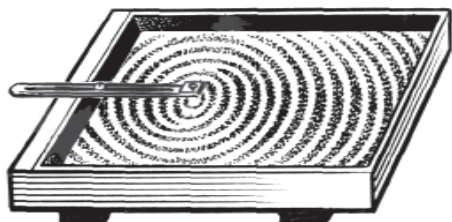
Tayoqchaga mahkamlangan sharchani idishdagi suv sirtiga ketma-ket tekkizib turilsa, sferik to‘lqinlar hosil bo‘ladi (217- a



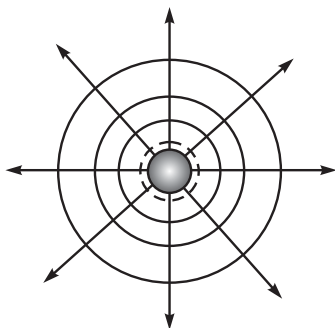
a

216- rasm.

b



a



b

217- rasm.

rasm). Bunda to‘lqin sirtlari markazlari sharcha markazida bo‘lgan sferalardan iborat bo‘lib, nurlar sfera radiuslari bo‘ylab yo‘nalgan bo‘ladi (217- b rasm).

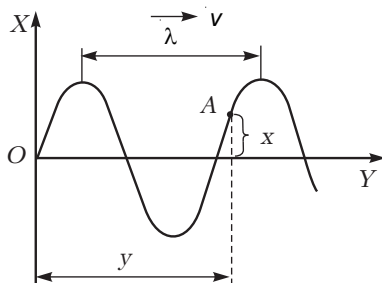
113-§. Yassi to‘lqin tenglamasi

Muhitning to‘lqin jarayonda ishtirok etayotgan zarralarining vaqtning istalgan paytidagi siljishi bilan bu zarralarning tebranishlar markazidan uzoqligi orasidagi bog‘lanishni ifodalaydigan munosabat to‘lqin tenglamasi bo‘ladi. Bu munosabatni topish uchun ko‘ndalang to‘lqinni ko‘rib chiqamiz. Lekin barcha mulohazalarimiz bo‘ylama to‘lqin uchun ham o‘rinli bo‘ladi.

Tebranishlar markazi bo‘lgan O nuqtani koordinata boshi deb qabul qilaylik (218- rasm). O nuqtadagi tebranishlar garmonik tebranishlar bo‘lsin:

$$x = x_0 \sin \omega t,$$

bunda t — tebranish boshlangan paytdan boshlab hisoblangan vaqt. Muhitning to‘lqin yetib borgan barcha zarralari ham shunday chastota va amplituda, biroq turli fazada garmonik tebrana boshlaydi. Tebranishlar markazidan (O zarradan) y masofada turgan ixtiyoriy A zarrani ko‘raylik. Agar O zarra t vaqtdan beri tebrana-yotgan bo‘lsa, A zarra $t - \tau$ vaqtdan beri tebranadi, bunda τ — tebra-



218- rasm.

nishlarning O markazidan A zarragacha tarqalish vaqti, ya'ni to'liqinning y yo'lni o'tishi uchun ketgan vaqt. Demak, A nuqtaning tebranish tenglamasi quyidagicha bo'ladi:

$$x = x_0 \sin \omega (t - \tau).$$

Biroq $\tau = \frac{y}{v}$, bu yerda v — to'liqinning tarqalish tezligi. U holda

$$x = x_0 \sin \omega \left(t - \frac{y}{v} \right). \quad (195)$$

Bu tenglama vaqtning ixtiyoriy paytida to'liqinning ixtiyoriy nuqtasining siljishini aniqlashga imkon beradi, uni y yo'nalish bo'yicha tarqalayotgan y assi to'liqin tenglamasi deyiladi.

(195)tenglamaga $v = \frac{\lambda}{T}$ ifodani qo'yib va $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu$ ekanligini nazarga olib, to'liqin tenglamasining boshqa ko'rinishlarini hosil qilish mumkin:

$$\left. \begin{aligned} x &= x_0 \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{y}{\lambda} \right), \\ x &= x_0 \sin 2\pi \left(\nu t - \frac{y}{\lambda} \right), \\ x &= x_0 \sin \left(\omega t - 2\pi \frac{y}{\lambda} \right). \end{aligned} \right\} \quad (196)$$

To'liqin tenglamasi ((195) formula) dagi sinusning argumenti ikki o'zgaruvchiga — t vaqtga va y koordinataga bog'liq. Shunday qilib, to'liqin fazoda ham, vaqtda ham davriydir. Vaqtning berilgan payti uchun (195) tenglama zarralarning x siljishini ulardan koordinata boshigacha bo'lgan y masofalarning funksiyasi sifatida ifodalaydi; o'tayotgan to'liqin ta'sirida tebranayotgan zarralar shu berilgan paytdagi sinusoida bo'yicha joylashgan bo'ladi. 218- rasmda sinusoidal to'liqin tasvirlangan. To'liqinning grafigi tashqi ko'rinish jihatidan garmonik tebranishlar grafigiga o'xshaydi (203- rasmga q.), biroq mohiyati jihatidan turlicha: tebranish grafigi berilgan zarra siljishining vaqtga bog'liqligini ifodalaydi; to'liqin grafigi esa muhitning barcha zarralarining ayni shu vaqtda siljishi bilan tebranishlar markazidan uzoqligi orasidagi bog'lanishni ifodalaydi. Bu grafikni go'yo to'liqinning oniy fotosurati desa bo'ladi.

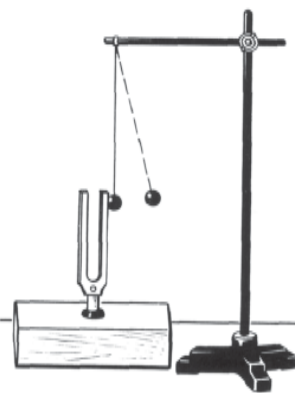
114-§. Tovush to‘lqinlari. Tovush tezligi

Agar muhitda tarqalayotgan to‘lqinlarning chastotasi 20 Hz dan 20 000 Hz oralig‘ida bo‘lsa, bunday to‘lqinlarni inson qulog‘i eshitadi (qabul qiladi). Shuning uchun chastotasi ana shu ko‘rsatilgan chastotalar oralig‘ida yotgan istalgan muhitdagi elastik to‘lqinlar *tovush to‘lqinlari* yoki to‘g‘ridan-to‘g‘ri *tovush* deb ataladi. Chastotasi 20 Hz dan kichik bo‘lgan to‘lqinlar *infra-tovush*, chastotasi 20 000 Hz dan katta bo‘lgan to‘lqinlar esa *ultratovush* deb ataladi. Infra- va ultratovushlarni inson qulog‘i eshitmaydi. Fizikaning tovush hodisalarini o‘rganadigan bo‘limi *akustika*, qulog‘imiz tovush sifatida qabul qilib oladigan tebranishlar *akustik tebranishlar* deb yuritiladi.

Har qanday tebranuvchi jism tovush manbai bo‘lishi mumkin. Masalan, kamertonga bolg‘acha bilan ursak, kamerton tovush chiqara boshlaydi. Agar kamerton shoxi yoniga ipga osilgan sharchani yaqinlashtirsak, har safar kamertonga sharcha tegishi bilan undan sapchiydi (219- rasm). Agar kamertonni qo‘l bilan ushlasak, uning tebranishlari to‘xtaydi, tovush eshitilmay qoladi. Kamerton tovush chiqarmayotgan vaqtda unga tegib turgan sharcha ham harakatsiz osilib turadi.

Tovush tebranishlari elastik muhit orqali uzatiladi. Bunga ishonch hosil qilish uchun quyidagicha tajriba o‘tkazish mumkin. Havo nasosi qalpog‘i ostiga elektr qo‘ng‘irog‘ini o‘rnatib, uni harakatga keltiraylik. Qalpoq ostida havo bo‘lganda qo‘ng‘iroqdan chiqayotgan tovush aniq eshitiladi. Qalpoq ostidagi havoni asta-sekin so‘rib olingan sari tovush zaiflashadi va havo batamom siyraklashganda (vakuum bo‘lganda) garchi qo‘ng‘iroq ishlab tursa ham, hech qanday tovush eshitilmay qoladi. Bundan tovush to‘lqinlari muhitda tarqaladi, vakuumda esa tarqalmaydi, degan xulosaga kelamiz.

Shunday qilib, biz tovushni eshitishimiz uchun, *birinchidan*, tovush manbai bo‘lishi; *ikkinchidan*, tovush manbai bilan quloq orasida elastik muhit mavjud bo‘lishi; nihoyat, *uchinchidan*, tovush manbayining chastotasi 20–20 000 Hz oralig‘ida bo‘lishi kerak.



219- rasm.

Har qanday moddada tovush ma'lum tezlik bilan tarqaladi, uning tarqalish tezligi $v = \frac{s}{t}$ formula bilan aniqlanadi, bu yerda s tovushning t vaqt oralig'ida o'tgan masofasi.

Tovushning tarqalish tezligi muhitning xossalari va temperaturaga bog'liq bo'ladi: muhitning elastikligi va zichligi qancha katta bo'lsa, tovushning tarqalish tezligi shuncha katta bo'ladi. Bunday moddalarning tovush o'tkazuvchanligi katta bo'ladi. (Moddaning tovushni o'tkazish qobiliyati *tovush o'tkazuvchanligi* deb ataladi). O'lchashlar 0°C (273 K) temperatura va normal atmosfera bosimida havoda tovushning tarqalish tezligi $332 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ga teng ekanligini ko'rsatadi. Tovush tezligi temperatura ortishi bilan orta boradi.

Suyuqliklarda tovushning tarqalish tezligi gazlardagidan katta, qattiq jismlarda esa suyuqliklardagidan katta bo'ladi. Masalan, tovushning suvdagi tezligi $1450 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ga, po'latda esa $5000 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ga teng.

115- §. Tovushning balandligi, qattiqligi va tembri

Barcha tovushlar musiqiy tovushlarga va shovqinlarga bo'linadi. Masalan, musiqa asboblari chiqaradigan tovushlar, ashula musiqiy tovush hisoblanadi. Avtomobil yurganda, portlashda, suv sharsharasidan shovqin hosil bo'ladi.

Har qanday real tovush oddiy garmonik tebranish emas, balki ma'lum chastotalar to'plamiga ega bo'lgan garmonik tebranishlarning yig'indisidan iborat bo'ladi. Berilgan tovushda ishtirok etuvchi tebranishlar chastotalari to'plami tovushning *akustik spektri* deb ataladi. Agar tovushda v_1 dan v_2 gacha oraliqdagi barcha chastotaga ega bo'lgan tebranishlar ishtirok etsa, u holda spektr *tutash spektr* deyiladi. Masalan, shovqin *tutash akustik spektrga* ega. Agar tovush v_1 , v_2 , v_3 va hokazo, uzlukli, ya'ni bir-biridan chekli intervallar bilan ajralgan chastotali tebranishlardan tashkil topgan bo'lsa, *chiziqli akustik spektr* deyiladi. Masalan, musiqiy tovushlar (ularni ohangdor tovushlar deb ham ataladi) chiziqli spektrga ega. Tayinli, bir chastotali tovush musiqiy ton (musiqiy ohang) yoki to'g'ridan to'g'ri *ton* deb ataladi. Garmonik tebranayotgan jismning chiqarayotgan tovushi *musiqiy ton* bo'ladi. Musiqiy tovushlar bir-biridan qattiqligi va balandligi bilan farq qiladi.

Tovushning *qattiqligi* tebranish amplitudasiga bog‘liq bo‘ladi: tebranish amplitudasi qancha katta bo‘lsa, tovush shuncha qattiq bo‘ladi. Masalan, kamerton shoxiga bolg‘acha bilan qancha kuchli zarba berilsa, kamerton shuncha qattiq ovoz chiqarganini eshitamiz, chunki kuchli zarba ta’sirida katta amplitudali tebranishlar yuzaga keladi.

Tovushning *balandligi* tebranish chastotasiga bog‘liq; tebranish chastotasi qancha yuqori bo‘lsa, tovush shuncha baland hisoblanadi. Masalan, torning tarangligini orttirib (bunda torning erkin tebranishlari chastotasi ortadi), uning tovush balandligini oshirish mumkin.

Har qanday musiqiy tovushni chastotalarining nisbati natural sonlar qatori nisbati kabi bo‘lgan, ya’ni $v_1: v_2: v_3: v_4 \dots = 1: 2: 3: s$ kabi bo‘lgan bir necha garmonik tebranishlarga ajratish mumkin. Eng kichik — v_1 chastotali garmonik tebranish — asosiy ton, v_2, v_3 va hokazo yuqori chastotali garmonik tebranishlar *obertonlar* deb ataladi.

Turli manbalardan chiqayotgan tovushlarning tusi (ohangdorligi) turlicha bo‘ladi: ya’ni tovushlar bir-biridan *t e m b r i* bilan farq qiladi. Tovushning tembri obertonlarning bo‘lishi va ularning qattiqligiga bog‘liq bo‘ladi. Obertonlari ko‘p bo‘lgan musiqiy tovushlarning tembri yuqori (tovush shuncha sifatli) bo‘ladi.

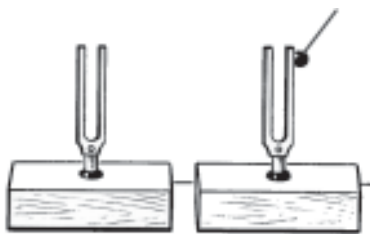
116- §. Akustik rezonans

Tovush chiqaruvchi jism tashqi davriy kuch ta’sirida tebrantayotganda tashqi kuch chastotasi jismning xususiy chastotasiga tenglashib qolsa, rezonans yuz beradi. Bunday rezonans *a k u s t i k r e z o n a n s* deb ataladi. Akustik rezonansni quyidagi tajribalar vositasida kuzatish oson:

1. Ikki uchi ochiq uzun shisha nayning pastki uchini rezina nay orqali voronkaga ulaymiz (220-rasm) va nayga suv quyamiz. Nayning yuqori uchiga tovush chiqarayotgan kamertonni yaqinlashtiramiz. Voronkani pastga asta-sekin tushira borib, shisha naydagi suv sathi balandligini o‘zgartiramiz. Tajriba naydagi havo ustuni balandligining tayinli qiymatida kamerton chiqarayotgan tovush kuchliroq bo‘lishini ko‘rsatadi. Agar havo ustunining balandligini orttirsak, tovushning pasayishi seziladi. Havo ustunining eng kichik balandligi kamertondan tarqa-



220- rasm.



221- rasm.

bo'lsin (221- rasm), yog'och quticha faqat kamertonni o'rnatish uchun emas, balki yana tovushni kuchaytirish uchun ham hizmat qiladi. Yog'och qutilarning o'lchamlari shunday tanlanganki, ulardagi havo ustunining xususiy tebranishlar chastotasi kamerton chastotasiga teng bo'ladi.

Endi kamertonlardan birining shoxchasiga bolg'acha bilan uraylik. Bir necha daqiqadan so'ng uni qo'l bilan ushlab tinchlantirsak, ikkinchi kamerton tovush chiqarayotganini eshitamiz. Birinchi kamertondan chiqayotgan tovush to'qlini ikkinchi kamertonga ta'sir etuvchi davriy kuchni hosil qiladi. Ikkala kamertonning xususiy tebranishlar chastotasi bir xil bo'lgani tufayli ikkinchi kamerton tebranishlarining amplitudasi ancha katta bo'ladi. Agar ikkinchi kamerton shoxchalaridan biriga biror narsa, masalan, yengil metall halqa kiydirib qo'ysak, u holda uning tebranish chastotasi o'zgaradi va tajribani takrorlaganimizda rezonans kuzatilmaydi.

117- §. Ultratovush

Ultratovush to'qlinlarining chastotasi 20 kHz dan yuqori bo'lgani tufayli, bu to'qlinlarning to'qlin uzunligi tovush to'qlinlariga nisbatan qisqadir. Masalan, chastotasi 350 kHz bo'lganda havoda ultratovush to'qlinining uzunligi 1 mm chamasida, chastota 3 MHz bo'lganda esa to'qlin uzunligi 0,1 mm chamasida bo'ladi. Havoda tovush to'qlinlarining uzunligi 15 m dan 15 mm gacha oraliqda yotadi. Suyuqlik va qattiq muhitlarda to'qlin uzunligi yana ham katta. Amalda, ana shunday uzunlikdagi, bir tomonga yo'nalgan to'qlin yarata oladigan nurlatgich qurish imkoniyati yo'q. Uzunliklari ancha kichikroq bo'lgan ultratovush to'qlinlarining bir tomonga yo'nalgan dastasini (yorug'lik dastasi kabi) hosil qilish mumkin. Masalan, agar ultratovush manbayi bo'lib turgan yassi plastinkaning o'lchamlari to'qlin uzunligiga nisbatan katta bo'lsa, u holda plastinkadan

yassi to‘lqin tarqaladi (216- a rasmga qarang); bu to‘lqin projektordan yorug‘lik tarqalgani kabi, plastinka yuzidan tarqalayotgan parallel nurlar dastasiga o‘xshaydi.

Hozirgi vaqtda ultratovush to‘lqinlarini yaratish uchun, asosan, ikkita hodisa: *teskari pyezonelektrik effekt* hamda *magnitostriksiya* hodisalaridan foydalaniladi. Teskari pyezonelektrik effekt shundan iboratki, ba’zi bir kristallardan (masalan, kvars, segnet tuzi, bariy titanat tuzi va boshqalardan) ma’lum usul bilan kesib olingan plastinka elektr maydon ta’sirida deformatsiyalanadi (maydon bir tomonga yo‘nalganda cho‘zilsa, teskari tomonga yo‘nalganda esa siqiladi). Ana shunday plastinkani o‘zgaruvchan kuchlanish berilgan metall qoplamalar orasiga joylashtirsak, plastinkaning majburiy mexanik tebranishlari yuzaga keladi. Agar elektr kuchlanishning o‘zgarish chastotasi plastinkaning xususiy tebranishlari chastotasiga mos kelsa, tebranishlar intensivlashadi. Shunday plastinka tutash (suyuqlik yoki gazsimon) muhitda joylashtirilgan bo‘lsa, tebranishlar muhitga berilib, unda ultratovush to‘lqinlarni uyg‘otadi. Magnitostriksiya esa magnit maydon ta’sirida ferromagnit moddalar (temir, nikel, ba’zi qotishmalar)da yuz beradigan shunga o‘xshash hodisadir.

Ultratovush to‘lqinlari inson faoliyatining turli-tuman soharlarida keng ishlatiladi. Masalan, ultratovush to‘lqinlari ilmiy-tadqiqot ishlarida modda (ayniqsa,uyuqlik)ning xossalarini o‘rganish maqsadida; suvda lokatsiya ishlari olib borishda, ya’ni buyumlarni topish va ulargacha bo‘lgan masofani aniqlashda (lokatorlar); chuqurlikni o‘lchash va dengiz tubining relyefini aniqlash ishlarida (exolotlar); ultratovush defektoskopiyasida, ya’ni metall buyumlarning nuqson (defekt)larini topish, ularning o‘lchamlarini va qayerda joylashganliklarini aniqlashda (defektoskop) va boshqa ko‘p maqsadlarda keng qo‘llaniladi. Ultratovush to‘lqinlari manbadan tarqalib, o‘z yo‘lida to‘siqqa uchraganda undan qaytadi. Qaytgan tovushlarni qayd qilib va ultratovush impulsini yuborish va qayd qilish orasidagi vaqtni bilgan holda qaytaruvchi buyumning qayerda va qanday masofada turganini aniqlash mumkin. Lokatorlar, exolotlar va defektoskoplarning ishlash prinsipi ultratovushning ana shunday qaytishiga asoslangan.

Ultratovushning biologik va fiziologik ta’sirlari ham bor. Bundan tibbiyotda davolash maqsadida, sut mahsulotlarini va dori-darmonlarni soflashda, qishloq xo‘jaligida ba’zi o‘simliklar (kartoshka, no‘xat va shunga o‘xshashlar)ning urug‘larini tez undirib olish va hosildorligini oshirishda va hokazo maqsadlarda keng foydalaniladi.

118- §. To‘lqin interferensiyasi

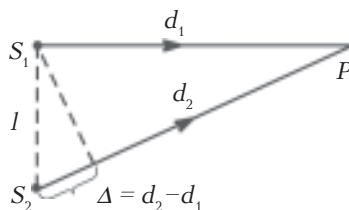
Tabiatda ko‘p hollarda muhitda bir vaqtning o‘zida bir necha xilma-xil to‘lqin tarqaladi. Masalan, uyda ko‘pchilik suhbat qurib o‘tirgan bo‘lsa, bir necha tovush to‘lqini bir-biriga qo‘shilib ketadi. Kuzatishlar va tekshirishlarning ko‘rsatishicha, agar muhitda bir necha tebranish manbalari bo‘lsa, ulardan chiqqan to‘lqinlar bir-biriga bog‘liq bo‘lmagan holda tarqaladi va tarqalish yo‘nalishida o‘zaro uchrashgandan keyin ham tarqalishda davom etadi. Bu holat to‘lqin jarayonlarining *mustaqillik prinsipi* deb ataladi. Bu prinsip o‘rinli bo‘lgan barcha hollarda muhit zarralarining tebranishi zarralarning har bir to‘lqin alohida-alohida tarqalgan vaqtdagi tebranishlarining geometrik yig‘indisidan iborat bo‘ladi. Demak, to‘lqinlar bir-birini buzmasdan, to‘g‘ridan-to‘g‘ri qo‘shilar ekan. Tajribadan kelib chiqadigan bu fikr to‘lqinlarning *superpozitsiya (qo‘shilishi) prinsipi* deb ataladi. Masalan, suvga ikkita tosh tashlaganda suv betida hosil bo‘lgan to‘lqinlarning tarqalishida ularning o‘zaro uchrashish joyida har qaysi to‘lqin tomonidan hosil qilingan tebranishlar bir-biri bilan qo‘shiladi (222- rasm). Qo‘shilish natijasida hosil bo‘luvchi tebranish uchrashayotgan to‘lqinlarning fazalari, davrlari va amplitudalariga bog‘liq bo‘ladi.

Davrlari (yoki chastotalari) bir xil va fazalar farqi vaqt bo‘yicha o‘zgarmaydigan to‘lqinlar kogerent to‘lqinlar deb ataladi. Bunday to‘lqinlarni hosil qiluvchi manbalar *kogerent manbalar* deb ataladi. Kogerent to‘lqinlarning qo‘shilish hodisasi *to‘lqinlar interferensiyasi* deyiladi. Interferensiya bo‘ylama to‘lqinlarning qo‘shilishida ham hosil bo‘lishi mumkin.

Kogerent S_1 va S_2 manbalardan chiqayotgan va muhitning biror P nuqtasida uchrashayotgan ikkita bir xil amplitudali to‘lqinning interferensiyasini ko‘rib chiqaylik (223- rasm). Muhitning ixtiyoriy olingan P nuqtasida ikkala to‘lqin qo‘shiladi.



222- rasm



223- rasm

P nuqtaga kelgan to‘lqinlarning qo‘shilishi natijasi, asosan, bu to‘lqinlarning fazalari orasidagi ayirmaga bog‘liq bo‘ladi. d_1 va d_2 masofalarni bosib o‘tgan to‘lqinlar $\Delta = d_2 - d_1$ yo‘l ayirmasiga yoki *yurish farqiga* ega bo‘ladi. Agar yo‘l ayirmasi Δ bilan to‘lqin uzunligi λ teng bo‘lsa, ikkinchi to‘lqin birinchi to‘lqindan to‘ppa-to‘g‘ri bir davr kechikadi, chunki to‘lqin shu bir davr davomida λ ga teng masofani o‘tadi. Binobarin, bu holda ikkala to‘lqin barcha nuqtalarining fazalari birday bo‘ladi va to‘lqinlar qo‘shilganda to‘lqin harakati kuchayadi, natijaviy to‘lqin amplitudasi maksimal bo‘ladi. Δ kesmada bitta to‘lqin uzunligi emas, balki istalgancha butun sonlarga teng to‘lqin uzunligi joylashgan hollarda ham yuqoridagi hol ro‘y beradi.

Demak, yo‘l ayirmasi to‘lqin uzunligining butun sonidan yoki yarim to‘lqin uzunligining juft sonidan iborat bo‘lsa, ya’ni

$$\Delta = n\lambda = 2n\frac{\lambda}{2} \quad (n = 0, 1, 2, 3, s) \quad (197)$$

bo‘lsa, P nuqtada to‘lqinlar qo‘shilib, tebranish amplitudasi maksimal qiymatga erishadi, ikki to‘lqin bir-birini maksimal kuchaytiradi.

Agar Δ yo‘l ayirmasiga to‘lqin uzunligining yarmi joylashsa, ikkinchi to‘lqin birinchi to‘lqindan yarim davr orqada qoladi. Fazalar farqi π ga teng bo‘ladi, ya’ni tebranishlar qarama-qarshi fazalarda yuz beradi. Bunda to‘lqinlarning qo‘shilishi natijasida to‘lqin harakati zaiflashadi. Natijaviy to‘lqin amplitudasi minimal bo‘ladi.

Δ yo‘l ayirmasida istalgancha toq son marta yarim to‘lqinlar joylashgan hollarda ham xuddi shunday bo‘ladi.

Demak, to‘lqin yo‘llarining ayirmasi yarim to‘lqinlarning toq sonidan iborat bo‘lsa, ya’ni

$$\Delta = (2n+1)\frac{\lambda}{2} \quad (n = 0, 1, 2, 3, s) \quad (198)$$

bo‘lsa, to‘lqinlar bir-birini susaytiradi.

Agar $\Delta = d_2 - d_1$ ayirma λ bilan $\lambda / 2$ o‘rtasidagi qiymatlardan birini olsa, natijalovchi to‘lqin amplitudasi ham amplitudaning maksimal qiymati bilan minimal qiymati o‘rtasidagi biror qiymatni oladi. Lekin muhimi shundaki, istalgan nuqtadagi to‘lqinlar amplitudasi vaqt o‘tishi bilan o‘zgarmaydi. To‘lqinlar bir-biri bilan ustma-ust tushgan sohada to‘lqinlar amplitudasining muayyan bir taqsimlanishi yuzaga keladi. Bu taqsimlanish *interferension manzara* deb ataladi.

Faqat kogerent to‘lqinlarning qo‘shilishidagina barqaror interferensiyon manzara hosil bo‘ladi. Agar to‘lqinlar kogerent bo‘lmasa, maksimum va minimumlar siljib, interferensiyon manzara buziladi.

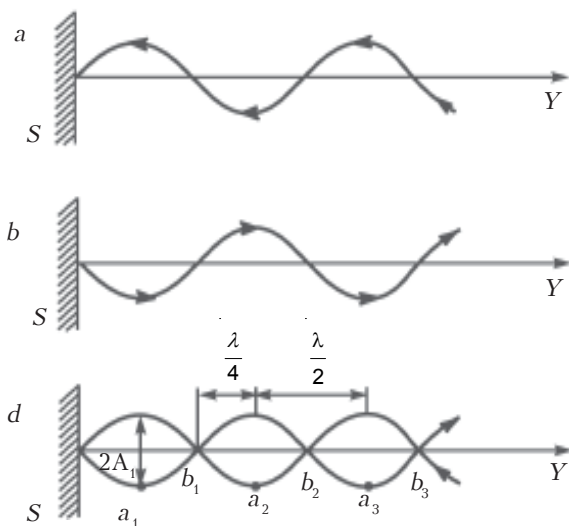
Shuni ham aytib o‘tish kerakki, ko‘ndalang va bo‘ylama to‘lqinlar bir xil chastotaga va o‘zgarish faza farqiga ega bo‘lganda ham ularning qo‘shilishi natijasida interferensiya bo‘lmaydi, chunki tebranishlar bir to‘g‘ri chiziqda yotmaydi. Bu holda muhitning kuzatilayotgan nuqtasi harmonik tebranmaydi.

To‘lqinlar muhitda o‘zi bilan energiya eltadi. Shunday ekan, ular bir-birini yo‘qotganda bu energiya qayerga ketadi? Interferensiyon manzaraning biror nuqtasida minimumning borligi bu yerga mutlaqo energiya kelmasligini bildiradi. Interferensiya natijasida fazoda energiya qayta taqsimlanadi. Energiya muhitning zarralari o‘rtasida tekis taqsimlanmay, balki maksimumlarda to‘planib, buning hisobiga minimumlarga mutlaqo bormaydi.

119- §. Turg‘un to‘lqinlar

Bir to‘g‘ri chiziq bo‘yicha qarama-qarshi yo‘nalishda tarqalayotgan ikkita bir xil amplitudali kogerent to‘lqinning qo‘shilishi natijasida hosil bo‘ladigan interferensiya hodisasini qarab chiqaylik.

Faraz qilaylik, yassi to‘lqin biror S sirtga tik tushayotgan bo‘lsin (224- a rasm). U holda shu sirtan u perpendikular ravishda qaytadi



224- rasm

(224- b rasm). Tushayotgan va qaytayotgan to‘lqinlar bir to‘g‘ri chiziq bo‘yicha qarama-qarshi tomonga tarqalsa-da, ularning chastotasi va amplitudasi bir xil bo‘ladi. Bu to‘lqinlarning tenglamasini yozaylik:

$$x_1 = A_1 \sin \omega \left(t - \frac{y}{u} \right), \quad x_2 = A_1 \sin \omega \left(t + \frac{y}{u} \right), \quad (199)$$

bu yerda: A_1 – to‘lqin amplitudasi, ω – doiraviy chastotasi, u – tarqalish tezligi, y – to‘lqin kuzatilish masofasi. Qarama-qarshi yo‘nalgan bunday to‘lqinlarning qo‘shilishi natijasida *turg‘un to‘lqin* hosil bo‘ladi (224- d rasm). Uning tenglamasi

$$x = x_1 + x_2 = A_1 \sin \omega \left(t - \frac{y}{u} \right) + A_1 \sin \omega \left(t + \frac{y}{u} \right) \quad (200)$$

ifodadan aniqlanadi. Bu ikkala hadni sinuslar yig‘indisi formulasiga asosan almashtirsak, natijaviy ifoda

$$x = 2A_1 \sin \left(\omega \frac{y}{u} \right) \sin \omega t = 2A_1 \sin \left(\frac{2\pi}{\lambda} y \right) \sin \omega t \quad (201)$$

ko‘rinishda bo‘ladi, bu yerda: $\frac{\omega}{u} = \frac{2\pi}{T \cdot u} = \frac{2\pi}{\lambda}$, λ – to‘lqin uzunligi.

(201) tenglama turg‘un to‘lqin tenglamasidir. Bu tenglamani (199) tenglama bilan solishtirib, turg‘un to‘lqinning har bir nuqtasida uchrashayotgan to‘lqinlarning chastotasiga teng chastota bilan tebranishlar sodir bo‘ladi va tebranishlarning amplitudasi

$$A = 2A_1 \sin \frac{2\pi}{\lambda} y \quad (202)$$

bo‘lib, u masofaga bog‘liq bo‘ladi, degan xulosaga kelamiz.

To‘lqinlar qo‘shilishi natijasida bir-birini kuchaytirgan nuqtalar turg‘un to‘lqinning *do‘ngliklari (qabartmalar)* deyiladi, 224- d rasmda a_1 , a_2 , a_3 nuqtalar do‘ngliklar bo‘lib, bu nuqtalarda turg‘un to‘lqinning amplitudasi qo‘shiluvchi to‘lqinlar amplitudalari yig‘indisi $2A_1$ ga teng bo‘ladi. Do‘ngliklarning to‘lqinning tarqalish nuqtasidan qancha masofada hosil bo‘lishini

$$2\pi \frac{y}{\lambda} = \pm(2n+1) \frac{\pi}{2} \quad (n = 0, 1, 2, 3, s) \quad (203)$$

tenglikdan topiladi, chunki $\sin \left(2n+1 \right) \frac{\pi}{2} = 1$ bo‘ladi va A amplituda maksimal $2A_1$ qiymatga erishadi. (203) dan do‘ngliklarning koordinatalari

$$y = \pm(2n + 1) \frac{\lambda}{4} \quad (204)$$

bo'ladi.

Shunday qilib, *turg'un to'lqin kuzatish oralig'iga toq chorak to'lqin uzunliklari joylashsa, bu kuzatilayotgan nuqtada turg'un to'lqinning do'ngliklari hosil bo'ladi.*

To'lqinlar qo'shilishi natijasida bir-birlarini susaytirgan nuqtalar turg'un to'lqinning *tugunlari* deyiladi. 224- d rasmda b_1 , b_2 , b_3 nuqtalar tugunlar bo'lib, bu nuqtalarda turg'un to'lqin amplitudasi qo'shiluvchi to'lqinlar amplitudalarining ayirmasiga teng, demak, biz ko'rayotgan holda natijaviy amplituda nolga teng bo'ladi. Tugunlarning to'lqin tarqalish nuqtasidan qanday masofada hosil bo'lishi quyidagi tenglikdan topiladi:

$$2\pi \frac{y}{\lambda} = \pm n\pi. \quad (n = 0, 1, 2, s) \quad (205)$$

Bundan

$$y = \pm 2n \frac{\lambda}{4}. \quad (206)$$

(204) va (206) tenglamalardan ko'rsatish mumkinki, yonma-yon turgan ikki tugun yoki yonma-yon turgan ikki do'nglik orasidagi masofa $\frac{\lambda}{2}$ ga, yonma-yon turgan do'nglik bilan tugun orasidagi masofa $\frac{\lambda}{4}$ ga teng (224- d rasimga qarang).

224- d rasmda ko'rsatilganidek, yonma-yon kelgan ikki tugun o'rtasida turgan zarrachaning muvozanat holatidan chiqishi eng katta siljish bo'lib, bu siljish $2A_1$ ga teng. Bu nuqtaning ikki tomonida yotgan nuqtalar tugunlarga qancha yaqin bo'lsa, ularning muvozanat holatidan siljishi shuncha kichiklashib boradi va, nihoyat, tugunda yotgan zarra vaqt o'tishi bilan muvozanat holatidan siljimaydi, ya'ni bu nuqta uchun siljish nolga teng bo'ladi. (203)

tenglamadagi $2A_1 \sin \frac{2\pi}{\lambda} y$ ko'paytma nol qiymatidan o'tayotganda o'z ishorasini o'zgartiradi. Shunga mos ravishda, siljish tugunning bir tomonida musbat, ikkinchi tomonida manfiy ishorali bo'ladi. Boshqacha aytganda, tugunning turli tomonlaridagi nuqtalar qarama-qarshi fazalarda tebranadi va tebranishlarning faza farqi π ga teng bo'ladi.

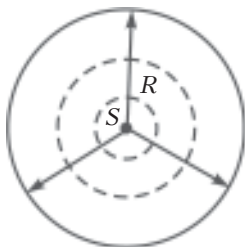
224- rasmdagi grafik ko'ndalang turg'un to'lqinlar uchun keltirilgan. Bo'ylama turg'un to'lqinlar uchun ham xuddi shunday grafiklarni chizib, yuqoridagi fizik xulosalarga kelish mumkin. Faqat bunda, muhit zarralarining ko'chishi (siljishi) yuguruvchi to'lqin tarqalayotgan yo'nalish bilan bir to'g'ri chiziqda yotishini qayd etmoq kerak. Bo'ylama turg'un to'lqinlarda tugunlarning ikkala tomonida zichlikning bir xil o'zgarishi kuzatiladi. Bunga tugunning turli tomonlarida turgun nuqtalarning tugun tomonga bir paytda yaqinlashib, bir paytda undan uzoqlashib turishi sabab bo'ladi.

Yuqorida aytilganidek, turg'un to'lqinlar bir to'g'ri chiziq bo'yicha qarama-qarshi yo'nalishda yuguruvchi bir xil amplitudali, bir xil chastotali to'lqinlarning qo'shilishidan hosil bo'ladi. Ularda tugunlar va, binobarin, do'ngliklar hamma vaqt bir joyda bo'ladi. Qo'shni do'nglik va tugun orasidagi masofa chorak to'lqin uzunligiga tengligidan, to'lqin hosil qiluvchi manba bilan to'siqqacha bo'lgan oraliqqa chorak to'lqin uzunligi butun son marta joylashgan holdagina turg'un to'lqin hosil bo'ladi. Bu shartdan foydalanib, turg'un to'lqinlarda to'lqin uzunligini tajribada oson o'lchash mumkin.

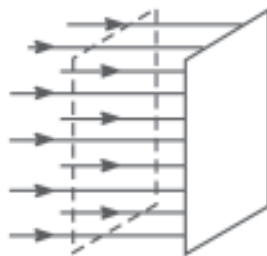
120- §. To'lqin difraksiyasi. Gyuygens prinsipi

Tutash muhitda joylashgan tebranishlar manbayidan to'lqinlar hamma yo'nalishlar bo'ylab tarqaladi. To'lqin frontining shakli tebranish manbayining shakli va muhit xossalariga bog'liq bo'ladi. Tebranish manbayi nuqtaviy bo'lsa, bir jinsli muhitda to'lqin fronti sfera shaklida bo'ladi. Bir jinsli muhitda to'lqinlar barcha yo'nalishlar bo'yicha bir xil tezlikda tarqaladi, shuning uchun ular bir xil vaqt oralig'ida bir xil masofani o'tadi. Bu sferaning R radiusi to'lqin frontiga perpendikularidir (225- rasm).

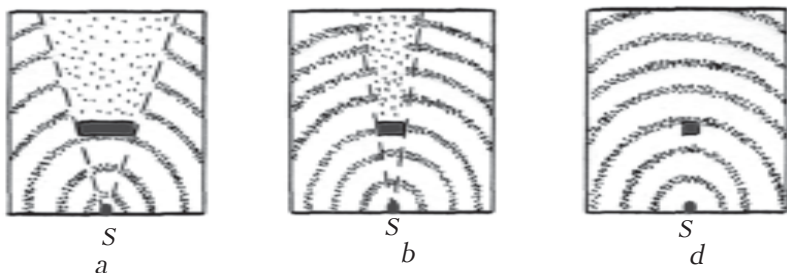
Agar to'lqin fronti tekislikdan iborat bo'lsa, bu holda nurlar o'zaro parallel bo'ladi (226- rasm). Sferik to'lqin frontining teb-



225- rasm



226- rasm



227- rasm

ranishlar manbayidan ancha uzoq bo'lgan kichik qismini (front egriligini nazarga olmay) amalda yassi to'lqin deb hisoblash mumkin.

Suv sirtida tarqalayotgan va suvdagi kattaroq to'siqqa, masalan, suvdan chiqib turgan qoyatosh yoki beton devorga yetib borgan to'lqinlar, qisman bu to'siqlardan qaytadi, qisman esa ularning chetidan o'tib harakatini davom ettiradi. Agar to'siqning o'lchamlari to'lqin uzunligidan ko'p marta katta bo'lsa, to'lqinlar to'siq chetidan o'tgandan keyin to'g'ri chiziq bo'yicha tarqaladi va to'siq ortida to'lqinlar bo'lmaydigan soha yuzaga keladi (sokinlik yoki soyalar sohasi, 227- a rasm), faqat to'siqdan juda uzoq masofalardagina to'lqinlar soya sohasiga kira boshlaydi, ya'ni to'siqni aylanib o'ta boshlaydi.

Agar to'siqning o'lchamlari to'lqin uzunligidan faqat bir necha martagina katta bo'lsa, to'lqinlar to'siqni aylanib o'tadi va soya sohasi ancha kamayadi (227- b rasm).

Agar to'siqning o'lchamlari to'lqin uzunligidan kichik bo'lsa, to'lqinlar to'siqni butunlay o'rab oladi va go'yo hech qanday to'siq bo'lmaganidek tarqalaveradi (227- d rasm).

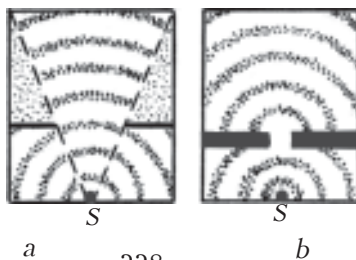
To'lqinlarning o'z yo'lida uchragan to'siqlarni aylanib o'tish hodisasi, ya'ni ularning to'g'ri chizikli tarqalishidan og'ishi to'lqinlar difraksiyasi deyiladi.

To'lqinlar o'lchamlari ana shu to'lqinlarning uzunligidan kam farq qiladigan tirqishlar orqali o'tganda ham to'lqinlar difraksiyasini kuzatish mumkin.

Agar to'lqinlarning harakati yo'lida tirqishining kengligi to'lqinning uzunligidan ancha katta bo'lgan to'siq uchrasa, to'lqinlar tirqish orqali o'tadi va to'g'ri chizikli tarqalish qonuni bo'yicha o'z yo'lida davom etadi (228- a rasm). Agar to'lqinlarning tarqalish yo'lida uchragan to'siq tirqishining kengligi to'lqin uzunligidan ancha kichik bo'lsa, to'lqinlar tirqish orqali o'tgach, ikki

tomonga buriladi. Xuddi to‘lqin harakatining markazi ana shu tirqish markaziga ko‘chgandagidek manzara hosil bo‘ladi (228- b rasm).

To‘lqinlarning difraksiya hodisasini 1690- yilda golland olimi Gyuygens tomonidan tavsiya qilingan prinsip asosida tushuntirish

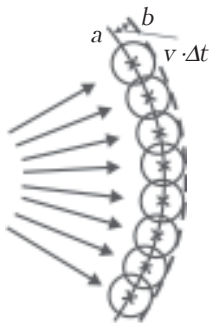


228- rasm

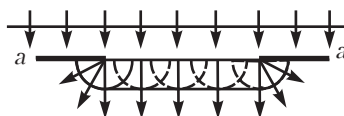
mumkin. Bu prinsip olimning nomi bilan Gyuygens prinsi-pi deb ataladi. Gyuygens prinsipiga ko‘ra, muhitning to‘lqin yetib borgan har bir nuqtasining o‘zi, ikkilamchi to‘lqinlarning manbai bo‘lib qoladi, ya‘ni bu nuqtadan xuddi markazdan tarqalgandek, yangi sferik to‘lqin tarqala boshlaydi. Ikkilamchi to‘lqinlar dastlabki front harakatlanayotgan yo‘nalishlardan boshqa (bu yo‘nalishlar 229- rasmda strelkali chiziqlar bilan ko‘rsatilgan) barcha yo‘nalishlarda o‘zaro so‘nadi, ya‘ni bir-birini so‘ndiradi.

Bir jinsli muhitda tarqalayotgan to‘lqin fronti biror t vaqtda a vaziyatni egallagan bo‘lsin. Uning keyingi $t+\Delta t$ paytdagi vaziyatini aniqlash uchun to‘lqin frontining har bir nuqtasini ikkilamchi to‘lqinlar manbai deb qarash kerak, ana shu ikkilamchi to‘lqinlarning geometrik o‘ramasi to‘lqin frontining keyingi paytdagi b vaziyatini ko‘rsatadi. Bu prinsip barcha to‘lqinlarning tarqalishini tavsiflash uchun ham yaroqlidir.

Gyuygens prinsipini qo‘llashga o‘lchami to‘lqin uzunligidan katta bo‘lgan tirqishli to‘siqqa yassi to‘lqinning tushishini misol sifatida keltirish mumkin (230- rasm). To‘lqin fronti aa to‘siqqa yetib borganda tirqishning nuqtalari ikkilamchi to‘lqinlarning manbalari bo‘lib qoladi. Bu sferik to‘lqinlarni yasab (front harakati yo‘nalishida yarim sferani yasashning o‘zi kifoya) hamda ularning o‘rovchisini chizib, tirqishdan o‘tgan to‘lqinning frontini hosil qilamiz. Bu front faqat o‘rta qismlaridagina yassi bo‘ladi; tirqish chegaralarida to‘lqin fronti (v_a , demak, nurlar) to‘siq orqasiga egiladi, ya‘ni to‘lqinlar difraksiyalanadi.



229- rasm



230- rasm

Difraksiya hodisasi tovush to‘lqinlarida yaxshi kuzatiladi. Qushlarning xonishini eshitishga bog‘dagi daraxtlar xalaqit bermaydi, holbuki katta binolarning orqasida esa ularni eshitmaymiz. Bunga sabab shuki, daraxtlarning diametrlari tovush to‘lqinlarining uzunligidan kichik va shuning uchun to‘lqinlar daraxtlarni oson aylanib o‘ta oladi, binoning o‘lchamlari tovush to‘lqinlarining uzunligidan ancha marta katta va shuning uchun binoni tovush to‘lqinlari aylanib o‘ta olmaydi.

Difraksiya hodisasi har qanday to‘lqin jarayonlar, shuningdek, yorug‘lik to‘lqinlari uchun ham xarakterlidir.



Takrorlash uchun savollar

1. To‘lqin deb nimaga aytiladi? 2. Qanday to‘lqinni ko‘ndalang to‘lqin, qanday to‘lqinni bo‘ylama to‘lqin deb ataladi? 3. To‘lqin uzunligi deb nimaga aytiladi? 4. To‘lqin uzunligi, tezligi va davri orasidagi munosabatni yozing. 5. Yassi va sferik to‘lqinlar bir-biridan nima bilan farq qiladi? 6. Yassi to‘lqin tenglamasini yozing va grafigini chizing. 7. Tovush deb nimaga aytiladi? 8. Nima uchun tovush to‘lqinlari vakuumda tarqalmaydi? 9. Tovushning tarqalish tezligi nimaga bog‘liq? 10. Tovush qanday kattaliklar bilan xarakterlanadi? 11. Ultratovush haqida nima bilasiz? 12. Akustik rezonansni tushuntiring. 13. To‘lqin jarayonining mustaqillik prinsipini, to‘lqinlarning superpozitsiya prinsipini tushuntiring. 14. To‘lqin interferensiyasi qanday hodisa? Kogerent to‘lqinlar deb qanday to‘lqinlarga aytiladi? 15. To‘lqinlar interferensiyasida tebranishlar amplitudasining maksimal va minimal qiymatlari qanday shartlar bajarilganda bo‘ladi? 16. Turg‘un to‘lqinlar deganda nimani tushunasiz? Do‘ngliklar va tugunlar koordinatalari qanday ifodalardan aniqlanadi? 17. To‘lqin difraksiyasi qanday hodisa? Difraksiya yaqqol kuzatilishi uchun to‘siqlarning o‘lchami qanday bo‘lishi kerak? 18. Gyuygens prinsipini tushuntiring.



MASALA YECHISH NAMUNALARI

1- masala. Dengizdagi to‘lqin do‘ngliklari orasidagi masofa 5 m. Katerning to‘lqinga qarshi harakatida 1 s da kater korpusiga 4 marta to‘lqin uriladi. To‘lqin bilan bir yo‘nalishda harakatlanganda esa 2 marta uriladi. Katerning va to‘lqinning tezliklarini toping.

Berilgan: $\lambda = 5$ m, $s_1 = 4\lambda = 20$ m, $s_2 = 2\lambda = 10$ m, $t = 1$ s.

Topish kerak: $v_1 - ?$ $v_2 - ?$

Yechilishi. To‘lqinning ikki qo‘shni do‘ngliklari orasidagi masofa to‘lqin uzunligiga teng. Kater to‘lqinga qarshi harakatlanganida kater bilan to‘lqinning t vaqt ichida o‘tgan masofasi $s_1 = (v_1 + v_2)t$ kattalikka qisqaradi, bu yerda:

v_1 – katerning tezligi, v_2 – to‘lqinning tezligi. Kater to‘lqin bilan bir yo‘nalishda harakatlanganda ular orasidagi masofa $s_2 = (v_1 - v_2)t$ kattalikka qisqaradi. Ikkala formulani birgalikda yechib (ularni hadma-had qo‘shib), katerning tezligi uchun

$$v_1 = \frac{s_1 + s_2}{2t} = \frac{6\lambda}{2t} = 3 \frac{\lambda}{t}$$

munosabatni, to‘lqinning tezligi uchun esa (ularni hadma-had ayirib)

$$v_2 = \frac{s_1 - s_2}{2t} = \frac{2\lambda}{2t} = \frac{\lambda}{t}$$

munosabatni hosil qilamiz.

$$\text{Hisoblash: } v_1 = \frac{3.5\text{m}}{1\text{s}} = 15 \frac{\text{m}}{\text{s}}; \quad v_2 = \frac{5\text{m}}{1\text{s}} = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

2- masala. Tovush to‘lqining ikkita nuqtasidan manbagacha bo‘lgan masofalar ayirmasi 25 sm, tebranishlar chastotasi 680 Hz. Bu ikki nuqta tebranishlari fazalarining farqini aniqlang. Tovushning tezligini 340 m/s deb oling.

$$\text{Berilgan: } y_2 - y_1 = 25 \text{ sm} = 0,25 \text{ m}, \quad \nu = 680 \text{ Hz}, \quad \nu = 340 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Topish kerak: $\Delta\varphi$ – ?

Yechilishi. To‘lqinning har ikkala nuqtasi uchun to‘lqin tenglamasini yozamiz:

$$x_1 = x_0 \sin \omega \left(t - \frac{y_1}{v} \right),$$

$$x_2 = x_0 \sin \omega \left(t - \frac{y_2}{v} \right),$$

bu yerda: x_1 va x_2 – mos ravishda, birinchi va ikkinchi nuqtalarning siljishi, y_1 va y_2 – nuqtalarning tebranishlar manbayidan uzoqligi, $\omega = 2\pi\nu$ – to‘lqinning davriy chastotasi. Birinchi to‘lqinning fazasi

$\varphi_1 = \omega \left(t - \frac{y_1}{v} \right)$ ga, ikkinchi to‘lqinning fazasi $\varphi_2 = \omega \left(t - \frac{y_2}{v} \right)$ ga teng.

Fazalar farqi esa

$$\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = \omega \left(t - \frac{y_1}{v} \right) - \omega \left(t - \frac{y_2}{v} \right) = \omega \frac{y_2 - y_1}{v} = 2\pi\nu \frac{y_2 - y_1}{v}$$

formula bilan aniqlanadi.

$$\text{Hisoblash: } \Delta\varphi = 360^\circ \cdot 680 \text{ Hz} \frac{0,25\text{m}}{340 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 180^\circ = \pi.$$

3-masala. Kuzatuvchidan 1060 m uzoqlikda bolg'a bilan temiryo'l relsiga urilmoqda. Kuzatuvchi relsiga quloq tutib, tovushni havo orqali eshitgan vaqtidan 3 sekund oldin eshitadi. Tovushning po'latdagi tezligi nimaga teng? Tovushning havodagi tarqalish tezligi $330 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Berilgan: $s = 1060 \text{ m}$, $\Delta t = 3 \text{ s}$, $v = 330 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Topish kerak: v_1 - ?

Yechilishi. Tovushning havoda o'tgan masofasi $s = vt$ formula bilan aniqlanadi, bu yerda $t = \frac{s}{v}$ - tovushning shu masofani o'tishi uchun ketgan vaqt. Agar tovushning po'latdagi tezligi v_1 bo'lsa, $s = v_1 \cdot (t - \Delta t)$ deb yozish mumkin, bu yerda $(t - \Delta t)$ - tovushning rels bo'yicha s masofani o'tish vaqti. Oxirgi ifodadan tovushning po'latdagi tezligi quyidagiga teng bo'ladi:

$$v_1 = \frac{s}{t - \Delta t}.$$

Bu munosabatga t ning ifodasini keltirib qo'ysak, u holda

$$v_1 = \frac{s}{\frac{s}{v} - \Delta t} = \frac{sv}{s - v \cdot \Delta t}$$

bo'ladi.

Hisoblash : $v_1 = \frac{1060 \text{ m} \cdot 330 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1060 \text{ m} - 330 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 3 \text{ s}} \approx 5000 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$



MUSTAQIL YECHISH UCHUN MASALALAR

142. Baliqchi po'kak 10 s davomida to'qlqinda 20 marta tebranishini payqadi. To'qlqinning qo'shni do'ngliklari orasidagi masofa 1,2 m. To'qlqinlarning tarqalish tezligi qanday?

143. So'nmas to'qlqinning biror nuqtasining harakati $x = 0,05 \times \cos 2\pi t$ m tenglama bilan ifodalanadi. To'qlqin tarqaladigan nurda bir-biridan 15 va 30 sm masaofada yotgan nuqtalar harakatining tenglamalarini yozing. To'qlqinning tarqalish tezligi $0,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

144. Tovush havodan suvga o'tganda tovush to'qlqinining uzunligi necha marta o'zgaradi? Tovushning suvdagi tezligi $1480 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, havodagi tezligi esa $340 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

145. Agar tovush daryoning narigi sohilidan havoda 1,5 s da yetib kelgan bo'lsa, daryoning kengligi qanday?

146. Normal eshitiladigan tovushning eng yuqori chastotasi 20 kHz. Bunday chastotada havodagi to'lqin uzunligini toping. Tovushning havodagi tezligi $340 \frac{m}{s}$ ga teng.

147. Otishma ovozi va o'q 680 m balandlikka ayni bir vaqtda yetadi. O'qning boshlang'ich tezligi qanday? Miltiq tik yuqoriga otilgan, o'qning harakatiga ko'rsatiladigan qarshilikni nazarga olmang. Tovush tezligini $340 \frac{m}{s}$ deb oling.

148. Tovushning yerga nisbatan tezligi shamol yo'nalishi bo'ylab $380 \frac{m}{s}$; shamol yo'nalishiga qarshi esa $320 \frac{m}{s}$ bo'lgan. Tovushning havoga nisbatan tezligi va shamolning yerga nisbatan tezligi nimaga teng?

149. Tebranish manbayidan 10 m va 16 m masofadagi ikki nuqta tebranishining fazalar farqi qanchaga teng bo'ladi? Tebranish davri 0,04 s va to'lqinning tarqalish tezligi $300 \frac{m}{s}$.

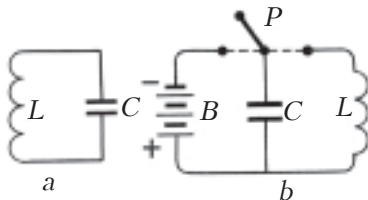
150. $t = \frac{T}{6}$ payt uchun tebranish manbayidan $\frac{\lambda}{12}$ masofadagi nuqtaning muvozanat vaziyatidan qanchaga siljishi aniqlansin. Tebranish amplitudasi 0,05 sm.

VIII bob. ELEKTROMAGNIT TEBRANISHLAR. O'ZGARUVCHAN TOK

121- §. Tebranish konturi. Erkin elektromagnit tebranishlar

Elektr zaryadi, kuchlanish, tok kuchi, shuningdek, elektr va magnit maydonlarning davriy ravishda o'zgarib turish jarayoni elektromagnit tebranishlar deb ataladi. Elektromagnit tebranishlarni *tebranish konturida* hosil qilish mumkin. *C* kondensator va *L* induktivlik g'altigidan tuzilgan elektr zanjiri tebranish konturi deb ataladi (231- a rasm). Konturning aktiv qarshiligi juda kichik deb qaraladi.

Konturda elektromagnit tebranishlarni hosil qilish uchun dastlab

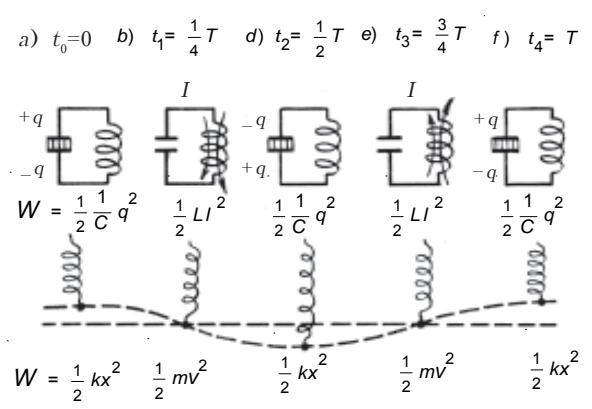


231- rasm.

kondensatorni zaryadlash kerak. Buning uchun konturni P almashlab-ulagich yordamida B batareyaga ulaymiz (231- b rasm). So'ngra, kondensatorni batareyadan ajratsak, uning qoplamalarida ma'lum miqdorda qarama-qarshi ishorali zaryad to'planadi.

Konturda qanday qilib elektromagnit tebranishlar yuzaga kelishini yaqqolroq tasavvur qilish uchun konturdagi tebranishlarni prujinali mayatnik tebranishlari bilan taqqoslab boramiz. 232-rasmda tebranish konturi va prujinali mayatnik tasvirlangan. Kondensator zaryadlanmagan va konturda tok bo'lmagan vaqtda konturning elektr energiyasi ham, magnit energiyasi ham nolga teng bo'ladi. Muvozanat vaziyatida tinch turgan mayatnikning mexanik (potensial va kinetik) energiyasi ham nolga teng bo'ladi. Vaqtning dastlabki $t_0 = 0$ paytida kondensatorga q zaryad beramiz. Kondensator qoplamalari orasida elektr maydon hosil bo'ladi (232-a rasm). Kontur kondensatorni zaryadlash uchun bajarilgan ish bilan o'lchanadigan va kondensatorning elektr maydon energiyasi

$\frac{1}{2} \frac{1}{C} q^2$ ga teng energiya zaxirasiga ega bo'ladi. (Kondensator qoplamalariga zaryad berish prujinali mayatnikning tashqi kuch ta'sirida muvozanat holatidan chetga chiqarilishi va uning muvozanat holatidan x siljishiga mos keladi. Bunda prujina $\frac{kx^2}{2}$ ga teng bo'lgan elastik deformatsiyaning potensial energiyasiga ega bo'ladi.) Keyin kondensator g'altak orqali razryadlana boshlaydi. Konturda vaqt o'tishi bilan ortib boruvchi I tok paydo bo'ladi, g'altakda esa magnit maydon yuzaga keladi. Kondensator razryadlangan sari uning elektr maydoni zaiflashadi, g'altakning magnit maydoni esa



232- rasm

kuchayadi. Vaqtning $t_1 = \frac{1}{4}T$ paytida kondensator to'la zaryadlanadi, elektr maydon energiyasi nolga teng bo'ladi, tok eng katta qiymatga erishib, magnit maydon energiyasi maksimal qiymatga ega bo'ladi. Konturning butun energiyasi g'altakning magnit maydon energiyasi $\frac{LI^2}{2}$ dan iborat bo'ladi (232- b rasm.) Bu bosqich mayatnikda kvazielastik kuch nolga teng bo'lgan holga va mayatnikning inersiyaisi tufayli harakatini davom ettirib, muvozanat holatidan o'tishiga mos keladi. Bu vaqtda mayatnikning energiyasi butunlay kinetik energiyaga aylanadi va energiya $\frac{mv^2}{2}$ ifoda orqali aniqlanadi.

Vaqtning keyingi onlarida g'altakning magnit maydoni zaiflasha boshlaydi, shu sababli unda Lens qoidasiga muvofiq kondensatorning zaryadlanish toki yo'nalishida tok induksiyanadi. Magnit maydon butunlay yo'qolguncha, konturda oqib turgan induksion tok kondensator qoplamalarini qayta zaryadlay boshlaydi. Vaqtning $t_2 = \frac{1}{2}T$ paytida (232- d rasm) kondensator to'la qayta zaryadlanadi, tok kuchi esa nolga teng bo'ladi. Natijada konturning magnit maydon energiyasi yana kondensatorning elektr maydon energiyasiga aylanadi. Biroq bunda elektr maydonning yo'nalishi uning t_0 paytidagi yo'nalishiga qarama-qarshi bo'ladi. Vaqtning bu paytiga prujinali mayatnikning tebranishlarida uning potensial energiyasi eng katta bo'lgan eng pastki vaziyati to'g'ri keladi. Shundan keyin jarayon teskari tartibda takrorlanadi (232- e, f rasm) va $t_4 = T$ paytda kontur boshlang'ich holatga qaytadi, mayatnik esa eng yuqori vaziyatga o'tadi va yuqoridagi ko'rib o'tgan jarayonlar yana takrorlanadi.

Shunday qilib, konturda T davrli elektr tebranishlar vujudga keladi. Davrning birinchi yarmi davomida tok bir yo'nalishda, davrning ikkinchi yarmi davomida esa qarama-qarshi yo'nalishda oqadi.

Konturdagi elektr tebranishlar vaqtida kondensatordagi elektr maydon energiyasi va induksiya g'altagidagi magnit maydon energiyasi davriy ravishda o'zaro bir-biriga aylanib turadi, bu xuddi mayatnikning mexanik tebranishlarida mayatnik potensial va kinetik energiyalarining o'zaro bir-biriga aylanishiga o'xshaydi. Bunday taqqoslashda mayatnikning potensial energiyasini kondensatorning elektr maydon energiyasiga, mayatnikning kinetik energiyasini esa g'altakning magnit maydon energiyasiga, mayatnikning harakat

tezligini konturdagi tok kuchiga o'xshatish mumkin. Mayatnik inersiyasi rolini g'altakning induktivligi, mayatnikka ta'sir qiluvchi ishqalanish kuchi rolini konturning aktiv qarshiligi o'ynaydi. Agar konturda energiya isrofi (o'tkazgichlarning qizishi va elektromagnit nurlanishi) bo'lmaganda edi, elektr tebranishlar istagancha uzoq vaqt davom etgan, ya'ni so'nmas tebranishlar bo'lar edi. Lekin haqiqatda energiya isrof bo'lmasdan iloji yo'q. Chunki g'altak va ulovchi simlarning aktiv qarshiligi mavjud, bu esa Joule – Lens qonuniga binoan issiqlik chiqishiga sabab bo'ladi.

Tebranuvchi sistemaning o'zida paydo bo'ladigan kuchlar (kvazielastik kuchlar) ta'sirida hosil bo'ladigan mexanik tebranishlar xususiy tebranishlar deb atalar edi. Xuddi shunga o'xshash, konturda unga biror energiya zaxirasi berganda hosil bo'ladigan va konturda vujudga keladigan induksion tok bilan tutib turiladigan elektromagnit tebranishlar xususiy yoki erkin elektromagnit tebranishlar deb ataladi. Konturning aktiv qarshiligi hamma vaqt noldan farqli bo'lganidan, dastlab, konturda zaxirada saqlangan energiya uzluksiz ravishda issiqlik ajralishiga sarf bo'ladi. Buning natijasida elektromagnit tebranishlarning intensivligi tobora kamayib boradi, binobarin, erkin tebranishlar so'nuvchi tebranishlar bo'ladi. Konturda so'nmaydigan elektromagnit tebranishlar hosil qilish uchun, isrof bo'layotgan energiyani bir davr davomida to'ldirib turish kerak.

122- §. Erkin elektromagnit tebranishlar tenglamasi, davri va chastotasi

Kondensator qoplamalaridagi elektr zaryadi va potensiallar farqi yoki konturdagi tok kuchi kattaliklarining o'zgarishlari aynan o'sha ko'rinishda ketma-ket takrorlanishi uchun ketgan aniq vaqt oralig'i erkin yoki xususiy elektromagnit tebranishlar davri deb ataladi. Xususiy tebranishlar davri konturdagi sig'im va induktivlik kattaligiga bog'liq bo'ladi. Ana shu bog'lanishni aniqlaymiz.

Tebranish konturi berk zanjir bo'lgani uchun undagi manbaning 1 EYK vazifasini 1_{is} o'zinduksiya EYK bajaradi va u quyidagicha aniqlanadi:

$$1_{is} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}.$$

Lekin konturda C sig‘imli kondensator ham bor, undagi kuchlanish

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

ga teng. Bu kuchlanish vaqt o‘tishi bilan zaryadning o‘zgarishlariga bog‘liq holda o‘zgaradi.

Zanjirdagi o‘zinduksiya EYK zanjirdagi to‘la kuchlanish bilan kondensatordagi kuchlanishlar yig‘indisiga teng bo‘lishi kerak:

$$1_{is} = IR + U_C$$

yoki

$$-L \frac{\Delta I}{\Delta t} = IR + \frac{q}{C}. \quad (207)$$

Bu tebranish konturidagi elektromagnit tebranishlarning asosiy tenglamasidir. Umumiy holda bu tenglamani yechish juda murakkab. Biz tebranish konturining qarshiligi juda kichik, ya‘ni IR had hisobga olinmasa ham bo‘ladigan darajada kichik bo‘lgan holni ko‘rish bilan cheklanamiz. Bunday holda (207) tenglama soddalashib, quyidagi ko‘rinishga keladi:

$$L \frac{\Delta I}{\Delta t} = -\frac{q}{C}. \quad (208)$$

Bu tenglama bilan prujinali mayatnik tebranishlarini tavsiflovchi

$$m \frac{\Delta v}{\Delta t} = -kx \quad \text{va} \quad \frac{\Delta v}{\Delta t} = -\frac{k}{m} x = -\omega_0^2 x \quad (209)$$

tenglama o‘rtasida belgilaridan boshqa hech qanday farq yo‘qligi ko‘rinib turibdi. Agar m massani L induktivlik bilan, $\frac{\Delta v}{\Delta t}$ tezlanishni tok kuchining vaqt bo‘yicha o‘zgarishi $\frac{\Delta I}{\Delta t}$ bilan, prujinaning k bikrligini kondensator sig‘imiga teskari kattalik $\frac{1}{C}$ bilan almash-tirsak, (209) tenglama o‘rniga aynan (208) tenglamani hosil qilamiz. (208) tenglamani L ga bo‘lsak va

$$\omega_0^2 = \frac{1}{LC} \quad (210)$$

deb qabul qilsak, quyidagi tenglama kelib chiqadi:

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = -\omega_0^2 q.$$

Bu esa (209) tenglamaning xuddi o'zidir, (209) tenglamada ω_0 — mexanik tebranishlarning siklik chastotasi. Binobarin, (210) tenglamadan topiladigan elektromagnit tebranishlarning siklik chastotasi ω_0 zaryad, tok va boshqa kattaliklarning tebranishlar chastotasi bo'ladi. U vaqtda konturdagi erkin tebranishlar davri quyidagicha ifodalanadi:

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{LC} \quad (211)$$

Bu formula ingliz fizigi B. Tomson tomonidan 1853- yilda nazariy yo'l bilan birinchi marta chiqarilgan va uning nomi bilan *T o m s o n f o r m u l a s i* deb ataladi.

Elektromagnit tebranishlar chastotasi

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (212)$$

formuladan aniqlanadi.

Shunday qilib, induktivlik va sig'im qancha kichik bo'lsa, elektromagnit tebranishlar davri shuncha kichik, tebranishlar chastotasi esa shuncha yuksak bo'ladi.

123- §. So'nmas elektromagnit tebranishlar generatori

Tebranishlar konturida kichik bo'lsa ham o'tkazgichlarning qarshiligi mavjud bo'lgani uchun erkin elektromagnit tebranishlar tez so'nadi, shuning uchun ulardan amalda deyarli foydalanilmaydi. So'nmaydigan majburiy elektromagnit tebranishlar esa, aksincha, juda katta amaliy ahamiyatga ega. So'nmas tebranishlarni hosil qilish uchun konturga davriy o'zgaruvchi tashqi kuch ta'sir qilishi kerak, ya'ni o'zgaruvchan EYK ni ulash kerak. Ammo bu yo'l bilan yuqori chastotali tebranishlar hosil qilib bo'lmaydi. Radiotexnikada esa $50 \div 100$ kHz dan tortib $10^5 \div 10^6$ kHz gacha bo'lgan yuksak chastotali tebranishlar qo'llaniladi.

Yuqori chastotali elektromagnit tebranishlarni boshqa usul bilan, masalan, *l a m p a l i g e n e r a t o r* deb ataladigan generator vositasida hosil qilish mumkin. Bu generatorlarning asosiy qismlaridan biri *triod* yoki *tranzistor* bo'lganligi uchun ular shunday deb nomlanadi.

Lampali generator o'z tarkibidagi o'zgarmas EYK manbayidan olinadigan energiya hisobiga so'nmaydigan elektromagnit tebranishlar hosil qiluvchi avtotebranishlar sistemasidan iborat. Bu

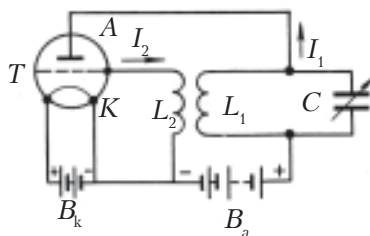
jihtdan u yuqoriga ko'tarilgan tosh yoki siqilgan prujina energiyasi hisobiga mayatnikning mexanik tebranishlarini so'ndirmay turadigan soatga o'xshaydi.

Lampali generator o'zgarmas tok energiyasini o'zgarmas amplitudali va yuksak chastotali o'zgaruvchan tok energiyasiga aylantirib beradi.

Lampali generator 1913-yili kashf qilingan bo'lib, u quyidagi qismlardan tashkil topgan: 1) elektromagnit tebranishlar hosil qilinadigan tebranish konturi; 2) konturda so'nmas tebranishlarni ta'minlab turish uchun zarur bo'lgan energiya manbai va 3) tok manbayidan konturga energiya berishni avtomatik rostlab turuvchi elektron lampa – triod.

233- rasmda ko'rsatilgan sxema bo'yicha lampali generatorning ishlash prinsipini quyidagicha tushuntirish mumkin. Tebranish konturiga triod orqali o'zgarmas tok manbai B_a ulangan. Lampaning to'ri va katodi orasiga tebranish konturining L_1 g'altagi bilan induktiv bog'langan L_2 g'altak ulangan. Cho'g'lantirish batareyasi ulanganda lampadan tok o'ta boshlaydi (lampa „ochiladi“) va anod zanjirida ma'lum vaqt davomida o'suvchi I_1 tok paydo bo'ladi (rasmda tokning yo'nalishi strelkalar bilan ko'rsatilgan). Bu tok, birinchidan, kontur kondensatorini zaryadlaydi. Ikkinchidan, L_1 g'altakda magnit maydon hosil qiladi. Bu magnit maydonning induksiya oqimi L_2 g'altakni ham kesib o'tadi. Bu maydon vaqt davomida o'suvchi bo'lganidan, Lens qoidasiga muvofiq, L_1 g'altakda I_1 tokka qarama-qarshi yo'nalgan I_2 tok induksiyalanadi. I_2 to'r toki lampaning to'rini manfiy zaryadlaydi (tokning yo'nalishi, elektronlar harakati yo'nalishiga qarama-qarshi ekanligidan, I_2 tokdagi elektronlar to'rga qarab harakatlanadi va unda to'planib, uni manfiy zaryadlaydi), shuning uchun lampa „berkiladi“. Shunday qilib, lampa kondensatorni zaryadlaydi va anod zanjirini uzib qo'yadi, binobarin, konturni energiya manbai B_a batareyadan uzib qo'yadi.

Kondensatori zaryadlangan konturda 120- § da ko'rib o'tilgan tartibda elektromagnit tebranishlar hosil bo'laveradi. Davrning ikkinchi choragi davomida tok kondensatorni qayta zaryadlaydi va to'xtaydi. Bu vaqtda L_1 g'altakning magnit maydoni, demak, L_2 g'altakning magnit maydoni ham zaiflashadi, shuning uchun elektromagnit induksiya hodisasiga muvofiq, L_2 to'r g'altagidagi



233- rasm

tok avvalgi yo‘nalishda o‘tishda davom etadi, binobarin, to‘r qo‘shimcha manfiy zaryad oladi va lampa „berkligicha“ qoladi.

Davrning ikkinchi yarmida konturda teskari (I_1 ga qarama-qarshi) yo‘nalishda tok o‘tadi. I_1 avval davrning uchinchi choragida kuchayadi, so‘ngra davrning to‘rtinchi choragida susayadi. Shuning uchun L_2 to‘r g‘altagidagi tokning yo‘nalishi ham qarama-qarshi tomonga o‘zgaradi va to‘rning manfiy zaryadi kamaya boshlaydi. Davrning oxiriga kelib bu zaryad tamom bo‘ladi, lampa „ochiladi“ va u kondensatorni zaryadlaydi. So‘ngra bayon qilingan jarayon qaytadan boshlanadi. Shunday qilib, lampa davriy ravishda — tebranishlarning har davri boshida konturga anod batareyasidan energiya beradi. Buning natijasida konturda so‘nmas elektromagnit tebranishlar yuzaga keladi.

Uch elektrodli lampani birinchi bo‘lib rus olimi N. D. P a p a - l e k s i ishlab chiqarishga joriy qilgan, birinchi lampali generator konstruksiyasini atoqli radioinjener olim M. A. B o n c h - B r u y e v i c h yaratgan.

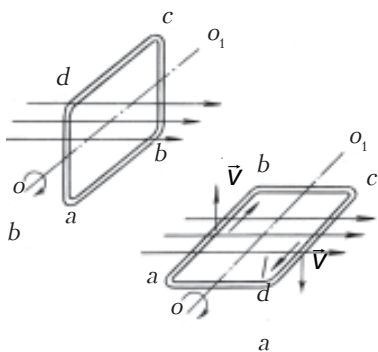
Tebranish konturida olinadigan yuksak chastotali toklar sanoatda keng qo‘llaniladi. Masalan, yuksak chastotali toklar yog‘ochni quritish, metall buyumlar sirtini chiniqtirish va eritish pechlarida ishlatiladi. Yuksak chastotali toklar yordamida metallarni juda tez eritish mumkin, bu hol oson bug‘lanib ketuvchi moddalarning qotishmalarini olishda muhim shart hisoblanadi.

Hozirgi vaqtda yuksak chastotali toklar tibbiyotda (elektrodiatermiya) muvaffaqiyatli qo‘llanilmoqda.

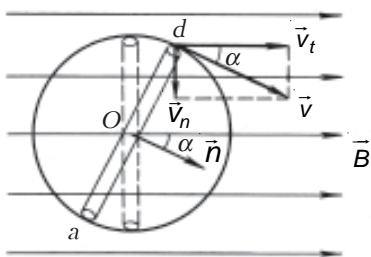
124- §. O‘zgaruvchan tok hosil qilish

To‘g‘ri to‘rtburchakli ramka ko‘rinishida o‘tkazgich olib, uni bir jinsli magnit maydonga joylashtirib, OO_1 o‘q atrofida aylantiramiz (234- rasm). Bunda ramkaning yuzini kesib o‘tuvchi magnit oqimi ham kattaligi, ham yo‘nalishi jihatdan uzluksiz o‘zgarib boradi, natijada elektromagnit induksiya qonuniga asosan, ramkada o‘zgaruvchan induksion EYK vujudga keladi.

Ramka OO_1 o‘q atrofida soat strelkasi yo‘nalishi bo‘yicha aylanayotgan bo‘lsin. U vaqtda ramka tekisligi kuch chiziqlariga parallel bo‘lgan holda ramkaning ab qismi yuqoriga tomon, cd qismi esa pastga tomon harakatlanadi (234- a rasm). O‘ng qo‘l qoidasini tatbiq etib, ramkaning ab qismida induksion tok va induksion EYK a uchidan b uchiga tomon, cd qismida esa c uchidan



234- rasm



235- rasm

d uchiga tomon yo‘nalgan bo‘lishini, binobarin, EYK lar bir-birini kuchaytirishini topamiz.

235- rasmda ramkaning OO_1 yo‘nalishda kuzatilgan holdagi ko‘ndalang kesimi ko‘rsatilgan, bunda punktir bilan chizilgan holat ramkaning 234- b rasmdagi holatiga mos keladi. Ramkaning ab va dc tomonlarining ko‘ndalang kesimi a va d bilan, ramkaning boshlang‘ich holatdan og‘ish burchagi α bilan belgilangan. Ramka tekisligiga o‘tkazilgan \vec{n} normal bilan \vec{B} induksiya vektori orasidagi burchak ham α ga teng bo‘ladi. d nuqta \vec{v} chiziqli tezlik bilan Od radiusli aylana bo‘yicha harakatlanadi. Bu vaqtda dc tomon magnit induksiya chiziqlarini \vec{v} tezlikning normal tashkil etuvchisi v_n tezlik bilan kesib o‘tadi. Shakldan ko‘rinishicha,

$$v_n = v \sin \alpha$$

bo‘ladi, bu yerda α – ramkaning t vaqt ichida avvalgi (punktir bilan chizilgan) holatidan og‘ish burchagi, cd tomonda hosil bo‘lgan induksiya elektr yurituvchi kuchi (150) formulaga binoan quyidagiga teng bo‘ladi:

$$I_i = Blv_n = Blv \sin \alpha,$$

bu yerda l – ramkaning cd tomonining uzunligi. Agar ramka OO_1 o‘q atrofida o‘zgarmas ω burchak tezlik bilan aylanayotgan bo‘lsa, u holda ixtiyoriy t vaqtdan keyin uning boshlang‘ich vaziyatidan og‘ish burchagi $\alpha = \omega t$ bo‘ladi va

$$I_i = Blv \sin \omega t \quad (213)$$

ifodaga ega bo‘lamiz. Shunday qilib, bir jinsli magnit maydonda ramka o‘z o‘qi atrofida bir tekis aylanganida unda sinusoida qonuni bo‘yicha o‘zgaradigan induksion EYK hosil bo‘ladi.

(213) formuladan ko‘rinib turibdiki, $\alpha = \omega t = 90^\circ$ yoki $\sin 90^\circ = 1$ bo‘lganda, $B/v \sin \alpha$ ko‘paytma eng katta qiymatga ega bo‘ladi, bu ramkaning 234- b rasmdagi holatiga to‘g‘ri keladi. O‘zgaruvchan EYK ning maksimal qiymati EYK ning amplituda qiymati deb ataladi va I_0 bilan belgilanadi. Demak, $I_0 = B/v$ bo‘ladi. U vaqtda (213)dan

$$I = I_0 \sin \omega t \quad (214)$$

hosil bo‘ladi. EYK ning ixtiyoriy vaqtdagi qiymatini (214) formula bo‘yicha hisoblab topish mumkin. Shuning uchun I kattalik EYK ning ixtiyoriy berilgan vaqtdagi qiymati yoki *oniy qiymati* deyiladi. Agar ramkaning qarshiligi R bo‘lsa, u holda butun zanjirga oid Ohm qonunidan foydalanib, ayni vaqtda ramkadan oqayotgan induksion tok kuchini hisoblab topish mumkin:

$$I = \frac{1}{R} = \frac{I_0}{R} \sin \omega t.$$

Bu formulada $\frac{I_0}{R}$ kattalik maksimal tok kuchiga teng bo‘lib, tok kuchining amplituda qiymati deyiladi. Bu kattalikni I_0 bilan belgilab, ixtiyoriy vaqtdagi tok kuchi, ya‘ni tok kuchining oniy qiymati uchun quyidagi formulani yozish mumkin:

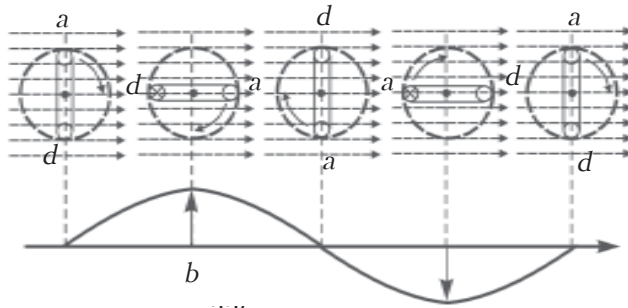
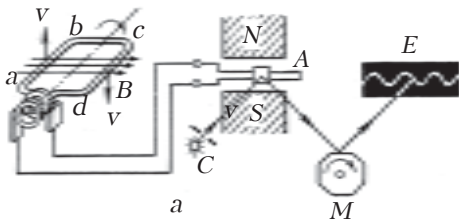
$$I = I_0 \sin \omega t. \quad (215)$$

Bu formuladan ko‘rinadiki, ramka bir jinsli magnit maydonda bir tekis aylanganda kuzatish davomida induksion tok kuchi sinusoidal qonun bo‘yicha o‘zgarar ekan.

125- §. O‘zgaruvchan tokda EYK va tok kuchining vaqtga bog‘liqlik grafiklari

Biz yuqorida o‘zgaruvchan tok hosil bo‘lishining matematik ifodasini mulohazalar orqali keltirib chiqardik.

Endi uni tajribada qanday kuzatish mumkinligini qarab chiqaylik. Buning uchun *abcd* ramka o‘ramining uchlariga ossillograf ulaymiz (236- a rasm). O‘ram magnit maydonda tekis aylanma harakat qilganda, ramkada hosil bo‘luvchi induksiya EYK va tokning grafigi sinusoida shaklida bo‘lishini ossillograf yordamida *E* ekranda ko‘ramiz. 236- b rasmda o‘ram bir marta to‘la aylanganda induksiya EYK ning qanday hosil bo‘lishi ko‘rsatilgan. Unda ramka *ad* tomonining magnit maydon induksiya vektoriga nisbatan qanday joylashishlari va induksiya EYK grafigi keltirilgan.

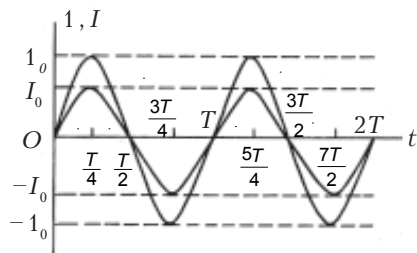


236- rasm

237- rasmda EYK bilan tok kuchining vaqtga bog‘lanish grafigi ko‘rsatilgan. Grafik sinusoidadan iborat. EYK va induksion tok kuchining grafigidan induksiya EYK va induksion tok kattaligi jihatidan ham, yo‘nalishi jihatidan ham o‘zgarishi ko‘rinib turibdi. *Kattaligi va yo‘nalishi jihatidan o‘zgaradigan tok o‘zgaruvchan tok deyiladi. Kattaligi va yo‘nalishi jihatidan sinusoidal qonunga mos ravishda davriy o‘zgaradigan tok sinusoidal o‘zgaruvchan tok deyiladi.*

Ramkaning magnit maydonda aylanishining ω burchak tezligiga teng bo‘lgan kattalik o‘zgaruvchan tokning davriy chastotasi deb ataladi.

O‘zgaruvchan tok kuchining bir marta to‘la tebranishi uchun ketadigan T vaqt oralig‘i o‘zgaruvchan tokning davri deyiladi. O‘zgaruvchan tok kuchining bir sekunddagi to‘la tebranishlar soni o‘zgaruvchan tokning chastotasi deb ataladi. Bu kattaliklar orasida quyidagicha bog‘lanish mavjud:



237- rasm

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu. \quad (216)$$

(214) va (215) formulalardagi ωt kattalik o'zgaruvchan tokning fazasi deb ataladi, u vaqtning ixtiyoriy paytida o'zgaruvchan EYK bilan o'zgaruvchan tok kuchining kattaligini aniqlaydi.

Umuman olganda, tokning tebranishlar fazasi EYK ning o'zgarish fazasi bilan to'g'ri kelishi shart emas. Shuning uchun umumiy holda

$$I = I_0 \sin(\omega t + \varphi), \quad (217)$$

deb yozish mumkin, bu yerda φ – tok bilan EYK ning tebranishlar fazasi orasidagi farq.

126- §. Tok va kuchlanishning haqiqiy qiymati

Yuqorida keltirib chiqarilgan (214) va (215) formulalardan ko'rinadiki, EYKning eng katta qiymatiga tokning ham eng katta qiymati to'g'ri keladi yoki EYK nolga teng bo'lganda tok ham nolga teng bo'ladi. Bu holda *EYKning o'zgarishlari bilan tokning o'zgarishlari bir xil fazada bo'ladi*, deyiladi. Kuchlanish va tok fazalari bir-biriga mos keladigan o'tkazgichning qarshiligi $a k t i v$ $q a r s h i l i k$ deyiladi. Aktiv qarshilikka ega bo'lgan o'tkazgichda tok energiyasi boshqa tur energiyaga aylanadi.

Tok o'zgarishining bir to'la davri ichida tok kuchi I qanday katta qiymatlarga erishmasin, uning o'rtacha qiymati nolga teng bo'ladi. Demak, o'zgaruvchan tokning qiymatini bu kattalik bilan baholab bo'lmaydi. O'zgaruvchan tokning kuchini baholashda uning yo'nalishiga bog'liq bo'lmaydigan ta'siri, masalan, tokning issiqlik ta'siri tanlanadi. Darhaqiqat, agar ma'lum bir qarshilikka ega bo'lgan o'tkazgichdan I tok o'tsa, u holda o'tkazgichda ajraladigan issiqlik miqdori tok kuchi kvadratiga proporsional bo'ladi, ya'ni tokning yo'nalishiga bog'liq bo'lmaydi. *O'tkazgichda birday vaqt ichida o'zgaruvchan tok ajrata oladigan miqdorda issiqlik ajrata oluvchi o'zgaruvchan tok qiymatiga teng o'zgaruvchan tok qiymati uning haqiqiy yoki effektiv qiymati* deb ataladi.

Sinusoidal o'zgaruvchan tok uchun tokning I_{eff} effektiv qiymati bilan I_0 amplituda qiymati orasidagi bog'lanishni topamiz. Buning uchun o'zgaruvchan tok kuchi kvadratining bir davr ichidagi o'rtacha qiymatini aniqlaymiz. Bu qiymat nolga teng bo'lmaydi, chunki tok kuchining kvadrati butun tebranish davrida musbatdir.

$$\sin^2 \alpha = \frac{1 - \cos 2\alpha}{2}$$

bo'lganidan

$$\overline{I^2} = \overline{I_0^2 \sin^2 \omega t} = \frac{I_0^2}{2} \overline{(1 - \cos 2\omega t)}$$

ga ega bo'lamiz. $\frac{I_0^2}{2}$ kattalik o'zgarmasdir. $\cos 2\omega t$ funksiyaning bir davr ichidagi o'rtacha qiymati nolga teng. Shunga asosan tok kuchi kvadratining o'rtacha qiymati:

$$\overline{I^2} = \frac{I_0^2}{2}.$$

Aktiv qarshilikda bir davr davomida o'zgaruvchan tok quvvatini hisoblaymiz. Bu quvvatning kattaligi tok kuchi kvadratining bir davr ichidagi o'rtacha qiymati orqali ifodalanadi. Tok kuchining bir davr ichidagi o'rtacha qiymati nolga teng bo'lgani sababli, uning kvadrati ham nolga teng bo'ladi, ya'ni $(\overline{I})^2 = 0$. Shuning uchun R aktiv qarshilikda bir davr davomida ajralib chiqadigan quvvat quyidagiga teng bo'ladi:

$$N = \overline{I^2} R = \frac{I_0^2}{2} R. \quad (218)$$

Bu ifodani o'zgarmas tok zanjirida ajralib chiqadigan quvvat formulasi

$$N = I^2 R$$

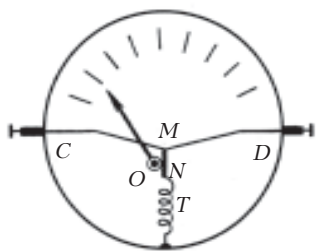
bilan taqqoslab (bu yerda I — o'zgarmas tok kuchi), o'zgaruvchan tok haqiqiy qiymatining ta'rifiga asosan, quyidagi ifodani yoza olamiz:

$$I_{\text{eff}} = \frac{I_0}{\sqrt{2}}. \quad (219)$$

Shunday qilib, sinusoidal tok uchun tok kuchining effektiv qiymati amplituda qiymatidan $\sqrt{2}$ marta kichikdir.

Xuddi shuningdek, EYK va kuchlanishning effektiv qiymati ham ularning amplituda qiymatidan $\sqrt{2}$ marta kichik bo'ladi:

$$I_{\text{eff}} = \frac{I_0}{\sqrt{2}}; \quad U_{\text{eff}} = \frac{U_0}{\sqrt{2}}. \quad (220)$$



238- rasm

O'zgaruvchan tok zanjirlarida tokni va kuchlanishni o'lchash uchun ko'rsatishlari tokning yo'nalishiga bog'liq bo'lmagan asboblari ishlatiladi. Bunday asboblarni issiqlik o'lchov asboblari deb ataladi.

Issiqlik o'lchov asboblari asosiy qismi CD toladan iborat bo'lib, uning o'rtasiga ikkinchi MN ip ulangan. Bu ip O blok orqali T prujina bilan tortilib turadi (238- rasm). Blokka strelka o'rnatilgan. O'lchanadigan tok C va D klemmalarga berilib, CD toladan o'tkaziladi. Ajraladigan issiqlik ta'sirida CD sim qiziydi va bu qizish tufayli uzayadi. CD sim uzayganda MN ipni T prujina ko'proq tortadi, natijada blokka o'rnatilgan strelka buriladi. CD simdan o'tuvchi tok kuchi qancha katta bo'lsa, sim shuncha ko'proq uzayadi va strelka shuncha ko'proq og'adi. Shunday qilib, shkalani tegishli darajalab olgach, asbobdan o'tayotgan tok kuchini o'lchash mumkin. Bu asbobga ketma-ket qo'shimcha qarshilik ulab, undan voltmetr sifatida foydalanish ham mumkin.

127- §. O'zgaruvchan tok zanjirida induktiv va sig'im qarshiliklar

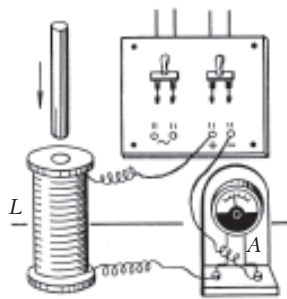
Avvalgi paragrafda ko'rganimizdek, o'zgaruvchan tok ham o'zgarmas tok kabi issiqlik ta'siriga ega. Biroq tokning kattaligi va yo'nalishi tez o'zgarib turishi natijasida, o'zgaruvchan tok o'zgarmas tokdan bir qator xususiyatlari bilan farq qiladi. Masalan, o'zgaruvchan tokdan texnikada qo'llaniladigan elektroliz uchun foydalanib bo'lmaydi. Ammo o'zgaruvchan tok zanjiriga kondensatorlar batareyasini ulash mumkin va hokazo.

O'zgaruvchan tok zanjiriga g'altak yoki kondensator ulanmagan holda tokning barcha energiyasi aktiv yoki omik qarshilikda sarflanadi. Bunda U_{eff} kuchlanishli zanjir qismida I_{eff} tokning quvvati

$$N = I_{eff} \cdot U_{eff} = I_{eff}^2 \cdot R = \frac{U_{eff}^2}{R} \quad (221)$$

ga teng bo'ladi. Agar o'zgaruvchan tok zanjirida kondensator yoki induktivlik g'altagi bo'lsa, zanjirdan o'tayotgan tok kuchi faqat kuchlanish va qarshilikkagina emas, shu bilan birga kondensatorning sig'imi va g'altakning induktivligi kabi kattaliklarga ham bog'liq bo'ladi va (221) formula murakkablashadi. Buni quyidagi tajribada ko'rish mumkin.

O'zgarmas tok zanjiriga g'altak va ampermetr ulaylik (239- rasm). Ampermetrga qarab tok kuchini belgilab olamiz. Endi g'altak ichiga temir o'zak kiritamiz. Tok o'zgarmaydi. Agar g'altakni o'zgarmas tok kuchlanishiga teng kuchlanishli o'zgaruvchan tok zanjiriga ulasak, g'altakdagi tok kuchi kamayib qoladi. G'altak ichiga temir o'zak kiritganimizda esa tok yanada ko'proq kamayadi.



239- rasm

Shunday qilib, *o'zgaruvchan tok zanjirining induktivligi tokni kamaytiradi, bundan zanjirda induktiv g'altak bo'lishi zanjirning qarshiligini oshiradi*, degan xulosaga kelish mumkin.

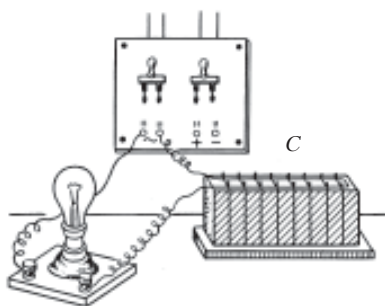
Buning sababi shuki, zanjirdan o'zgaruvchan tok o'tganida unda induksiya EYK hosil bo'lib, u hamma vaqt tashqi EYK ga qarama-qarshi yo'nalgan bo'ladi va tokning ortishiga to'sqinlik qiladi. Shuning uchun o'zinduksiya bo'lganda zanjirda o'zgaruvchan tok kuchi o'zinduksiya bo'lgandagidan kichik bo'ladi. G'altakdagi tokning o'zgarish tezligi va g'altakning induktivligi qancha katta bo'lsa, induksion tok shuncha katta bo'ladi. O'zgaruvchan tokning chastotasi qancha katta bo'lsa, tokning son jihatdan o'zgarish tezligi ham shuncha katta bo'ladi. Zanjirda induktivlik mavjudligi tufayli vujudga keladigan qarshilik *induktiv qarshilik* (R_L) deb atalib, u tokning chastotasiga va induktivlikka proporsional bo'ladi:

$$R_L = \omega L, \quad (222)$$

bu yerda ω — o'zgaruvchan tokning doiraviy chastotasi. Bu induktiv qarshilikni ham Ω larda ifodalanishini ko'rsatishimiz mumkin, ya'ni

$$[R_L] = [L] \cdot [\omega] = \frac{B \cdot s}{A} \cdot \frac{1}{s} = \frac{B}{A} = \Omega.$$

Endi kondensator ulangan o'zgaruvchan tok zanjirini ko'raylik. O'zgarmas tok manbayiga kondensatorli zanjirni ulaganimizda undan tok o'tmaydi. Chunki kondensator qoplamalari bir-biridan dielektrik bilan ajratilganligidan qarshiligi cheksiz katta bo'ladi. Endi shu zanjirning o'zini o'zgaruvchan tok manbayiga ulasak, zanjirda mavjud bo'lgan elektr lampochka yonadi



240- rasm

(240- rasm). Buni quyidagicha tushuntirish mumkin. Kondensator o'zgaruvchan tok manbayiga ulanganda uning qoplamalari navbat bilan zaryadlanib va razryadlanib turadi. Shu tufayli kondensator va o'zgaruvchan tok manbayi bo'lgan zanjirda hamma vaqt kondensatorning zaryadlanishi va razryadlanishi tokning dam bir, dam ikkinchi yo'nalishda o'tib

turishini ta'minlaydi. Shuning uchun o'zgaruvchan tokni „kondensator orqali o'tadi“ deyish mumkinki, bunda, albatta, tokning kondensatordan o'tishi emas, zanjir simlarida tokning bo'lishi nazarda tutiladi. Agar kondensatorni zanjirdan ajratib qo'ysak, lampochka ravshanroq yonadi. Demak, *o'zgaruvchan tok zanjirida kondensator bo'lishi zanjirning qarshiligini oshiradi.*

Zanjirda sig'im mavjudligi tufayli vujudga keladigan qarshilik sig'im qarshilik (R_c) deb ataladi. Sig'im qarshilikning kattaligi zanjirning sig'imiga va tokning o'zgarish chastotasiga bog'liq bo'ladi. Buni shunday tushuntirish mumkin. Kondensator qoplamalaridagi zaryad sig'imga proporsional bo'lganidan, kondensatorning sig'imi qancha katta bo'lsa, zanjir bo'ylab shuncha ko'p zaryad ko'chadi. Chastota qancha katta bo'lsa, kondensator shuncha tez zaryadlanadi va razryadlanadi, demak, zanjir bo'ylab vaqt birligi davomida, shuncha ko'p zaryad o'tadi. Shuning uchun ω va C qancha katta bo'lsa, shuncha katta tok o'tadi va sig'im qarshilik shuncha kichik bo'ladi. Ushbu xulosalarga asoslanib, sig'im qarshilikni quyidagicha ifodalash mumkin:

$$R_c = \frac{1}{\omega C} . \quad (223)$$

Sig'im qarshilikning ham Ω larda ifodalanishini keltirib chiqarishimiz mumkin:

$$[R_c] = [C^{-1}][\omega^{-1}] = \frac{s}{F} = \frac{s}{\frac{C}{V}} = \frac{V}{A} = \Omega.$$

O'zgaruvchan tok zanjirida induktivlik yoki sig'imning bo'lishi tok va kuchlanish fazalarining bir-biriga nisbatan siljishiga sabab bo'ladi. Induktiv qarshilikli zanjirda o'zinduksiya EYK hosil bo'lishi

tufayli tok faza jihatdan berilgan kuchlanishdan vaqt bo'yicha chorak davrga yoki faza bo'yicha 90° ga orqada qoladi, sig'im qarshilik bo'lganda esa tok faza jihatdan kuchlanishdan shuncha oldinga ketadi.

128- §. O'zgaruvchan tok zanjiri uchun Om qonuni

O'zgaruvchan tok zanjiri, eng umumiy holda, R aktiv qarshilikli o'tkazgich, L induktivlikli g'altak, C sig'imli kondensator hamda tok manbayidan iborat bo'lsin (241- rasm). Bunday zanjirda uchta qarshilik – R , R_L va R_C ketma-ket ulangan. Agar bu qarshiliklar uchlaridagi kuchlanishlar fazasi bir xil bo'lganda edi, zanjirning to'liq qarshiligi shu R , R_L , R_C qarshiliklarning yig'indisiga teng bo'lar edi. Biroq, haqiqatda bunday emas. Bu yerda qarshiliklardagi kuchlanish fazalari turlicha bo'ladi.

Darhaqiqat, zanjirning hamma qismlarida tok hamma vaqt bir xil bo'ladi. Demak, zanjirning sig'im, induktiv va aktiv qarshilikli qismlaridagi tokning amplitudalari va fazalari bir xil. Lekin zanjirning faqat aktiv qarshilikli qismidagina kuchlanish va tok fazalari bir xil bo'ladi. Zanjirning induktiv qismida kuchlanish tokdan 90° ga oldinda yuradi, sig'im qarshilikli qismida esa kuchlanish tokdan 90° ga orqada qoladi. Kuchlanish fazalarining ana shu siljishlari hisobga olinsa, 241- rasmda tasvirlangan zanjirning to'la qarshiligi uchun quyidagi formula kelib chiqadi:

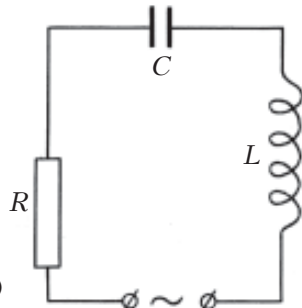
$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{C\omega}\right)^2}. \quad (224)$$

Shunga muvofiq, tok kuchining amplituda qiymati

$$I_0 = \frac{U_0}{Z} = \frac{U_0}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{C\omega}\right)^2}} \quad (225)$$

va haqiqiy qiymati

$$I_{\text{eff}} = \frac{U_{\text{eff}}}{Z} = \frac{U_{\text{eff}}}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{C\omega}\right)^2}} \quad (226)$$



241- rasm

formulalar orqali aniqlanadi. Har qanday elektr zanjiridagi o'zgaruvchan tokka oid Ohm qonuni ana shu (225) va (226) formulalar bilan ifodalanadi.

129- §. O'zgaruvchan tok zanjirida quvvat

O'zgaruvchan tok zanjiridagi quvvat tok va kuchlanishning haqiqiy qiymatlariga hamda tok bilan kuchlanish orasidagi faza siljishiga bog'liq bo'ladi. Aniq hisoblashlarning ko'rsatishicha, o'zgaruvchan tok zanjiridagi quvvat quyidagi formula yordamida hisoblanadi:

$$N = I_{\text{eff}} \cdot U_{\text{eff}} \cdot \cos \varphi, \quad (227)$$

bu yerda φ — faza siljishi, $\cos \varphi$ ko'paytuvchi quvvat koeffitsiyenti deb ataladi.

Tok va kuchlanish orasidagi fazalar siljishi bo'lmaganda ($\varphi = 0$) zanjirda ajralib chiqadigan quvvat maksimal bo'ladi va quyidagiga teng bo'ladi:

$$N = I_{\text{eff}} \cdot U_{\text{eff}}. \quad (228)$$

Bunday quvvat zanjirning aktiv qarshiligida ajralib chiqadi, chunki aktiv qarshilikda o'zgaruvchan tok bilan kuchlanish bir xil fazada bo'ladi.

Induktiv va sig'im qarshiliklarda tok kuchi bilan kuchlanish orasidagi faza siljishi $\varphi = \pm \frac{\pi}{2}$ ga teng edi. Demak, (227) formulaga asosan, zanjirning induktiv va sig'im qarshiliklaridan tok o'tib turishiga qaramasdan, ularda energiya umuman ajralib chiqmaydi, sarflanuvchi quvvat nolga teng bo'ladi. Elektr energiya sarf bo'lmaydigan, Joul – Lens issiqligi ajralib chiqmaydigan qarshilik reaktiv qarshilik deb ataladi. Binobarin, induktiv va sig'im qarshiliklar reaktiv qarshilik bo'ladi. Ular aktiv qarshilikdan tubdan farq qiladi.

Reaktiv qarshilikda issiqlik energiyasi ajralmasligini quyidagicha tushuntirish mumkin. Gap shundaki, kondensatorda elektr maydon hosil qilishga davriy ravishda sarf bo'ladigan (kondensator zaryadlanishida) energiya bu maydon yo'qolishida (kondensatorning razryadlanishida) shunday davriylik bilan zanjirga qaytadi. Xuddi shuningdek, o'zinduksiya g'altagining magnit maydonini

hosil qilishga (tokning o'sish vaqtida) davriy ravishda sarflanadigan energiya ham bu maydonning yo'qolishida (tokning kamayish vaqtida) shu miqdorda va shunday davriylik bilan qaytariladi. Faqat aktiv qarshilik bo'lgandagina elektr energiya o'tkazgichning ichki energiyasiga aylanadi, natijada o'tkazgich qiziydi.

130- §.Elektr zanjirida rezonans

Faraz qilaylik, tebranish konturiga parallel qilib davriy o'zgaruvchi elektr yurituvchi kuch manbai ulangan bo'lsin (242-rasm) va undagi EYK sof davriy, ya'ni vaqt o'tishi bilan

$$i = I_0 \sin \omega t \quad (229)$$

qonun bo'yicha o'zgarayotgan bo'lsin. U holda konturdan EYK ning chastotasiga teng chastotali tok o'tib turadi:

$$I = I_0 \sin(\omega t + \varphi), \quad (230)$$

bu yerda φ – tok kuchi bilan EYK tebranishlari orasidagi faza farqi. Om qonuniga binoan, bu tokning amplitudasi

$$I_0 = \frac{I_0}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} \quad (231)$$

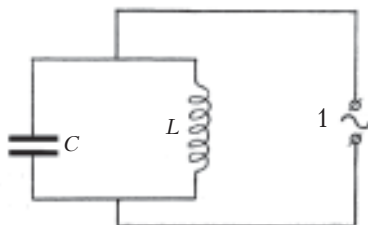
ifodadan aniqlanadi. Chastotaning

$$L\omega - \frac{1}{\omega C} = 0 \quad (232)$$

munosabatni qanoatlantiradigan qiymatida to'la qarshilik eng kichik qiymatga, tok kuchining amplitudasi esa maksimal qiymatga erishadi:

$$I_{0\max} = \frac{I_0}{R}. \quad (233)$$

Tok kuchining amplituda qiymati chastotaga bog'liq va chastotaning rezonans chastota deb ataladigan muayyan bir ω_{rez} qiymatida maksimal bo'ladi. ω_{rez} ning qiymati (232) ga asosan quyidagiga teng:



242- rasm

$$\omega_{\text{rez}} = \sqrt{\frac{1}{LC}}. \quad (234)$$

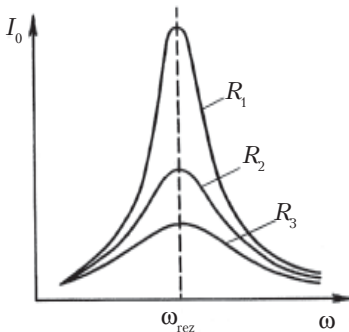
Shunday qilib, quyidagi xulosaga kelamiz. Tebranish konturida ikki xil elektromagnit tebranish: qiymati (210) ifodadan aniqlanadigan doimiy chastotali xususiy tebranish va chastotasi tashqi EYK ning o'zgarish chastotasi ω ga teng bo'lgan majburiy tebranish bo'lishi mumkin.

Agar tebranish konturining xususiy chastotasi ω_0 konturdagi ta'sir qilayotgan EYK ning o'zgarish chastotasi ω dan keskin farq qilsa ($\omega_0 \gg \omega$ yoki $\omega_0 \ll \omega$), u holda konturdan o'tayotgan tok kichik bo'ladi. Xususiy tebranishlar chastotasi tashqi EYK chastotasiga yaqinlashganda tok amplituda qiymatining ortishi kuzatiladi, har ikkala ω_0 va ω chastotalar kattalik jihatdan teng bo'lganda tok maksimal qiymatga erishadi.

Xususiy va majburiy tebranishlar chastotasi tenglashganda tok kuchining keskin ortishi elektr rezonans hodisasi deb ataladi. Biroq, shuni aytish mumkinki, konturning aktiv qarshiligi nolga yaqin yoki teng bo'lgandagina, ω_0 va ω chastotalar tengligida rezonans hodisasi sodir bo'ladi. Agar tebranish konturida biror aktiv qarshilik bo'lsa, u holda bunday konturning xususiy tebranishlar chastotasi quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}. \quad (235)$$

(234) va (235) formulalarni taqqoslab, rezonans hodisasi konturning tebranishlar chastotasi ω dan kattaroq ω_{rez} chastotada ro'y berishini ko'ramiz.



243- rasm

243- rasmda bir necha rezonans egri chiziqlari tasvirlangan bo'lib, ular turli aktiv qarshiliklarga ega bo'lgan konturlarga tegishli ($R_1 < R_2 < R_3$). Qarshilik qancha kichik bo'lsa, egri chiziqning maksimumi shuncha o'tkirroq bo'ladi. Demak, xususiy tebranishlarning so'nishi kamroq bo'lganda konturdagi tok kuchining amplituda qiymati kattaroq va rezonans egri chi-

zig'i o'tkirroq bo'lar ekan. Katta qarshiliklarda rezonans egri chizig'ining o'tkirligi kamroq bo'lishi rasmdan ko'rinib turibdi.

Rezonans vaqtida tok kuchining o'sishi bilan bir qatorda sig'im va induktiv qarshiliklardagi kuchlanishlar ham keskin ortadi. Bu kuchlanishlar kattalik jihatidan tenglashib, tashqi kuchlanishdan bir necha marta oshib ketadi. Haqiqatdan ham, rezonans hodisasi ro'y berayotgan vaqtda sig'im qarshilikdagi kuchlanishning amplituda qiymati

$$U_{0C} = I_0 R_C = I_0 \frac{1}{C\omega_{rez}} = I_0 \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (236)$$

ifodadan, induktiv qarshilikdagi kuchlanishning amplituda qiymati esa

$$U_{0L} = I_0 R_L = I_0 \omega_{rez} L = I_0 \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (237)$$

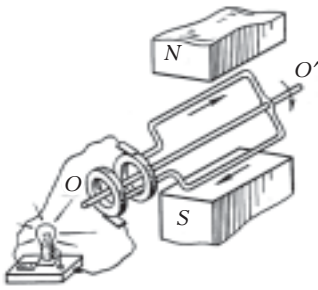
ifodadan aniqlanadi. Agar zanjirning aktiv qarshiligi R kattalik jihatdan $\sqrt{\frac{L}{C}}$ dan juda kichik ($R \ll \sqrt{\frac{L}{C}}$) bo'lsa, u holda tashqi kuchlanishning amplituda qiymati $U_0 = I_0 Z \approx I_0 R$ ifodadan aniqlanadi. Bundan $U_{0C} = U_{0L} \gg U_0$ ekanligini ko'rsatish mumkin. (236) va (237) ifodalarni taqqoslab, rezonans vaqtida konturning sig'im va induktiv qarshiliklari, haqiqatdan ham, bir-biriga teng bo'lishini ko'ramiz.

Shunday qilib, ketma-ket ulangan sig'im va induktiv qarshiliklardan tuzilgan zanjirda elektr rezonans bo'lganda (odatda, bunday rezonansni kuchlanishlar rezonansi deyiladi): *birinchidan*, zanjirning to'la qarshiligi minimal bo'ladi; *ikkinchidan*, tok kuchi juda katta qiymatlarga erishadi; *uchinchidan*, sig'im va induktiv qarshiliklardagi kuchlanishlar o'zaro teng va berilgan EYK dan bir necha marta katta bo'ladi.

Elektr zanjiridagi rezonans juda katta ahamiyatga ega. Masalan, radioaloqa faqat rezonans hodisasi tufayligina bo'lishi mumkin.

131-§. O'zgaruvchan tok generatori

Biror turdagi (issiqlik, mexanik, yorug'lik va hokazo) energiyani elektr energiyaga aylantirib beradigan qurilmalar generatorlar deb ataladi. Masalan, elektrostatik mashinalar, termobataryalar, galvanik elementlar, fotoelementlar va shu kabilar generatorlar jumlasiga kiradi.



244- rasm

Hozirgi vaqtda elektr energiya ishlab chiqarishda induksion generatorlar muhim rol o'ynaydi. Bu generatorlarning ishlashi elektromagnit induksiya hodisasiga asoslangan. Hozirgi vaqtda induksion generatorlarning juda ko'p turlari mavjud. Lekin generatorlarning hammasida ularning ishlashi uchun juda zarur bo'lgan bir xil umumiy qismlari bor. Ular quyidagilar:

1. Magnit maydonni hosil qiluvchi elektromagnit yoki doimiy magnit. Bu qism *i n d u k t o r* deb ataladi.

2. *Y a k o r* deb ataladigan qismi. Bu qism EYK induksiylanadigan chulg'amdand iborat.

3. *K o l l e k t o r* deb ataluvchi, qo'zg'almas cho'tkalarga tegib turadigan halqalar.

Bulardan tashqari, generatorlarning qo'zg'almas qismi *s t a t o r*, aylanuvchi qismi *r o t o r* deb ataladi.

244- rasmda o'zgaruvchan tok beradigan eng sodda generatorning tuzilish sxemasi ko'rsatilgan. Sxemadan ko'rinib turganidek, induktor (doimiy magnit) magnit maydon hosil qiladi. Tok yakor (ramka) da vujudga keladi. Tok tashqi zanjirga kollektor (halqalar va cho'tkalar) yordamida o'tadi. Cho'tkalar bilan halqalar orasida sirpanuvchi kontakt bor, bu kontakt cho'tkalarga ulangan qo'zg'almas o'tkazgichlarning aylanuvchi yakorga doimo tegib turishini ta'minlaydi. Yakor chulg'amlarining uchlari bir-biridan izolyatsiyalangan halqalarga ulangan. Bu generatorda induktor statorning, yakor esa rotorning vazifasini o'taydi.

Bitta ramkada hosil bo'ladigan induksiya EYK ning oniy qiymati quyidagi formuladan topiladi:

$$i = I_0 \sin \omega t.$$

Agar ramka bitta o'ramdan emas, balki N ta o'ramdan iborat bo'lsa, induksiya EYKning amplitudasi ham N marta katta bo'ladi. Bunday N ta o'ramni ketma-ket ulangan N ta ramka, deb qarash mumkin, ularning har birida amplitudasi I_0 bo'lgan EYK induksiyalanadi, natijaviy amplituda esa I_0 dan N marta katta bo'ladi. Shuning uchun amalda kuchlanishni orttirish uchun ramkaga ko'plab o'ramlar o'raladi. O'ramlari aylanuvchi va magnit sistemasi

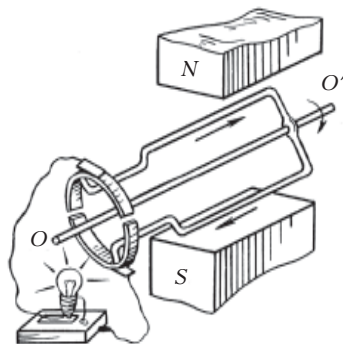
qo'zg'almas bo'lgan bunday o'zgaruvchan tok generatori juda kam uchraydi. Bunga sabab, sirpanuvchi kontaktlar yordamida generatordan olinadigan yuqori kuchlanishlarni olib ketish amalda mumkin emas, chunki sirpanuvchi kontaktlarda kuchli uchqun hosil bo'ladi. Buni bartaraf qilish uchun ko'pchilik o'zgaruvchan tok generatorlarida EYK induksiyalanadigan yakorni qo'zg'almas (stator) qilinadi, ularda induktor (rotor) aylanadi.

Umuman olganda, generator hosil qilayotgan EYKning kattaligi stator chulg'amlarining o'lchamlari va xiliga, rotor magnit maydonining kattaligiga hamda uning aylanish tezligiga bog'liq bo'ladi.

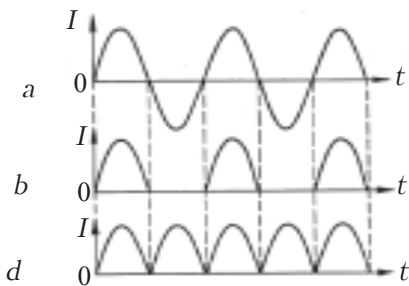
132- §. O'zgarimas tok generatori

Texnikada va turmushda, asosan, o'zgaruvchan tok qo'llaniladi. Lekin, ko'p hollarda, o'zgarimas tok ham kerak bo'ladi. Masalan, sanoatda, elektrokimyxo sohasida, elektr transportida va aloqada o'zgarimas tok ishlatiladi. O'zgarimas tok, ko'pincha, o'zgaruvchan tokdan to'g'rilagichlar deb ataladigan maxsus qurilmalar yordamida hosil qilinadi. Har qanday to'g'rilagichning ishlashi faqat ma'lum bir yo'nalishda tok o'tkazadigan zanjir qismlari hosil qilish mumkinligiga asoslangan. Ikki elektrodli elektron lampalar (diodlar) shunday xususiyatga ega.

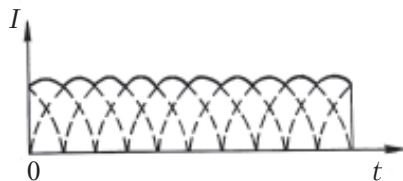
O'zgarimas tokni maxsus o'zgarimas tok generatorida ham hosil qilish mumkin. Buning uchun o'zgaruvchan tok generatoridagi halqalarni yarim halqalar bilan almashtirish kerak. Bu yarim halqalarga ramka chulg'aming uchlari mahkamlanadi (245- rasm). Yarim halqalar o'qqa mahkamlangan bo'lib, o'ramlar bilan birgalikda aylanadi va bunda qo'zg'almas cho'tkalariga tegib o'tadi. O'ramdagi tok o'z yo'nalishini o'zgartirganda yarim halqalar cho'tkalarini o'zgartiradi. Shuning uchun tashqi zanjirda paydo bo'lgan tok hamma vaqt bir xil yo'nalishda bo'ladi, biroq uning kattaligi vaqt o'tishi bilan o'zgaradi. Bunday tok pulsatsiyalanuvchi tok deb ataladi. 246- rasmda o'zgaruvchan (a), to'g'rilangan (b) va pulsatsiyalanuvchi (d)



245- rasm



246- rasm



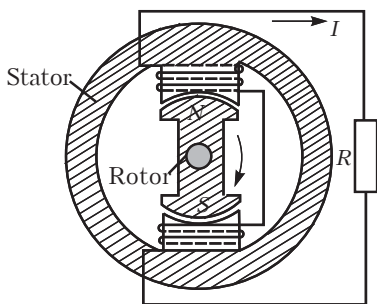
247- rasm

tokning grafiklari ko'rsatilgan. Pulsatsiyalanuvchi tokda tok kuchining katta o'zgarishlarini bartaraf qilish uchun yakor chulg'amlari ko'p g'altaklar (seksiyalar) dan tuziladi, ular bir-biriga ma'lum burchak ostida qiya qilib joylashtiriladi va bu seksiyalar o'zaro ketma-ket ulanadi. Bunday ulanganda tashqi zanjirda tok kuchi nolgacha pasayib ketmaydi. Seksiyalar soni ko'p bo'lganda tokning o'zgarishlari uncha ko'p bo'lmaydi (247- rasm). Odatda, yakorda 100 ga yaqin seksiya bo'ladi. Bunda kollektor yarim halqalari o'rniga bir-biridan yakkalangan plastinkalar o'rnatiladi. Kollektor plastinkalarining soni seksiyalar soniga teng bo'ladi. Kollektorning har bir plastinkasiga bir seksiyaning oxiri va bundan keyingi seksiyaning uchi ulanadi. Bu holda pulsatsiyalanuvchi tok emas, balki deyarli o'zgarmas tok olinadi.

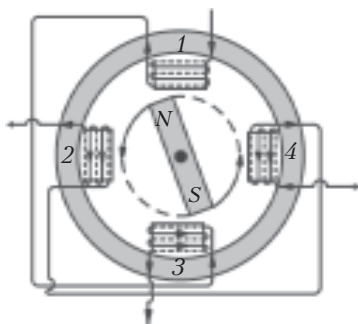
133- §. Bir fazali va ikki fazali tok

Turli kattalikdagi o'zgaruvchan tok generatorlarini konstruksiyalashda tok induksiyalanadigan yakorni emas, balki magnit maydonni hosil qiluvchi elektromagnitlarni aylantirish ancha qulaylik tug'diradi. Chunki bunday sharoitda induksiyalanuvchi tokni surilma kontaktlar — kollektorlar vositasida olish zaruriyati yo'qoladi (248- rasmda bunday o'zgaruvchan tok generatorlarining soddaxemasi ko'rsatilgan). Odatda, generatorning aylanuvchi elektromagnitini rotor, elektr yurituvchi kuch hosil bo'ladigan chulg'amini stator deb ataladi.

Rotorning qutb uchlari statorning g'altaklari yaqinidan o'tganida g'altakni kesib o'tuvchi magnit induksiya oqimining yo'nalishi rotorning har yarim aylanishida (magnit qutblari o'zaro almashishlari natijasida) o'zgaradi. Rotorning har to'liq aylanishida magnit induksiya oqimining to'la o'zgarish davri, demak, g'altakda



248- rasm



249- rasm

induksiyalangan elektr yurituvchi kuchning to'la davri hosil bo'ladi. Agar rotor bir minutda n marta aylansa, uning bir sekunddagi aylanishlar soni $\frac{n}{60}$ bo'ladi, binobarin, hosil bo'lgan elektr yurituvchi kuchning davrlari soni ham $\frac{n}{60}$ bo'ladi. Normal 50 Hz chastotali tok olish uchun rotor $n = 60 \cdot \nu = 60 \cdot 50 = 3000 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}$ tezlik bilan aylanishi kerak bo'ladi. Shunday qilib, rotorni $3000 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}$ tezlik bilan aylantirib, statorning qisqichlarida $\nu = 50$ Hz chastotali o'zgaruvchan EYK hosil qilinadi:

$$i = I_0 \sin 2\pi \nu t = I_0 \sin \omega t. \quad (238)$$

Bu EYKning I_0 amplituda kattaligi chulg'amning o'ramlar soniga va rotor hosil qilgan magnit induksiya oqimining kattaligiga bog'liq ekanligi ravshan.

Agar stator chulg'amiga R nagruzka (qarshilik) ulansa, u holda nagruzka orqali

$$i = I_0 \sin(\omega t + \varphi) \quad (239)$$

o'zgaruvchan tok o'ta boshlaydi, bu yerda φ – EYK bilan tok o'zgarishlari orasidagi faza farqi.

Yuqorida ko'rib o'tilgan statori bitta chulg'amdan iborat generatorlarda hosil qilinadigan o'zgaruvchan tok b i r f a z a l i t o k deb ataladi.

Endi shu generatorga o'xshash, lekin bir-biridan mustaqil bo'lgan ikki chulg'amli generatorni ko'z oldimizga keltiraylik (249-rasm). Chulg'amlardan biri 1 va 3 g'altaklardan, ikkinchisi esa 2 va 4 g'altaklardan tarkib topgan bo'lib, biri ikkinchisiga nisbatan

$\pi/2$ ga burilgan bo'lsin. Rotor aylanganda har bir chulg'amda elektr yurituvchi kuch induksiyalanadi. Lekin 2 va 4 chulg'amdagi 1_2 EYK maksimum qiymatga 1 va 3 chulg'amda 1_1 EYK maksimum qiymatga erishgan vaqtdan chorak davr o'tgandan keyingina erishadi. Boshqacha qilib aytganda, ikkala chulg'amdagi EYK tebranishlari orasida 90° ga yoki $\pi/2$ ga teng fazalar farqi mavjud bo'ladi. Shunday qilib, ikkala chulg'amda induksiyalangan EYK larni

$$1_1 = 1_0 \sin \omega t \quad \text{va} \quad 1_2 = 1_0 \sin(\omega t - 90^\circ) \quad (240)$$

ko'rinishda ifodalash mumkin, bu yerda: 1_0 – EYKning amplituda qiymati, ω – rotor aylanishining burchak tezligi.

Generatorning ikkala chulg'aming har birini nagruzkaga ulansa, u holda har biridan o'zgaruvchan tok o'tayotgan mustaqil ikki zanjir hosil bo'ladi. Lekin bu ikkala tok o'zaro moslangan bo'lib, ular orasida aniq fazalar farqi mavjud. Bunday ikki tokni toklarning ikki fazali sistemasi yoki, sodda qilib, ikki fazali tok deb ataladi.

Shunday qilib, bir generatorda ikkita emas, balki uchta, to'rtta va umuman, n ta chulg'amlarni joylashtirib, moslangan o'zgaruvchan toklarni yoki ko'p fazali toklar sistemasini hosil qilish mumkin. Lekin amalda esa uch fazali tokdan keng foydalaniladi.

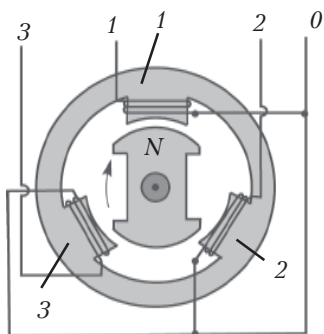
134- §. Uch fazali tok. „Yulduz“ va „uchburchak“ usulida ulash

Statorning doirasi bo'ylab bir-biridan 120° ga siljigan uchta chulg'am joylashtirilgan o'zgaruvchan tok generatorida uch fazali tok induksiyalanadi. Shunday generatorning prinsipial sxemasi 250- rasmda keltirilgan. Rotor aylanganida uning qutblari ketma-ket har bir chulg'am yaqinidan o'tib, ularda o'zgaruvchan EYK uyg'otadi.

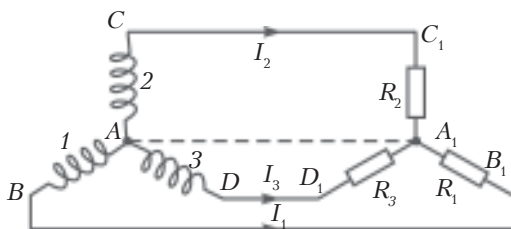
250- rasmda tasvirlangan 2 chulg'amda induksiyalangan EYK 1 chulg'amdagi EYK dan faza jihatidan 120° ga orqada qoladi, 3 chulg'amdagi EYK 1 chulg'amdagi EYK dan 240° ga orqada qoladi. Shuning uchun 1 chulg'amdagi EYK ni quyidagi

$$1_1 = 1_0 \sin \omega t \quad (241)$$

formula ko'rinishida ifodalasak, u holda 2 va 3 chulg'amdagi EYK lar uchun



250- rasm



251- rasm

$$i_2 = i_0 \sin(\omega t - 120^\circ) \text{ va } i_3 = i_0 \sin(\omega t - 240^\circ) \quad (242)$$

ifodalarni yozish mumkin.

Endi chulg‘amlarning bir uchlarini bir-biriga ulaymiz (251-rasm). A bilan belgilangan bu ulanish nuqtasini „nolinchi“ yoki „neytral“ nuqta deyiladi. Chulg‘amlarning ikkinchi B , C va D uchlarini esa, mos ravishda, xuddi shunday usulda o‘zaro ulangan R_1 , R_2 va R_3 bir xil qarshiliklarning B_1 , C_1 va D_1 uchlariga ulaymiz. U holda har bir chulg‘amda EYKning fazasi bilan mos keladigan o‘zgaruvchan tok hosil bo‘ladi:

$$i_1 = i_0 \sin \omega t; \quad i_2 = i_0 \sin(\omega t - 120^\circ), \quad i_3 = i_0 \sin(\omega t - 240^\circ). \quad (243)$$

Nolinchi sim deb ataladigan AA_1 simdan bu uchta tokning yig‘indisiga teng tok o‘tadi:

$$I = i_1 + i_2 + i_3 = i_0 \sin \omega t + i_0 \sin(\omega t - 120^\circ) + i_0 \sin(\omega t - 240^\circ).$$

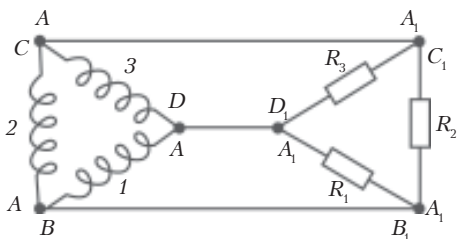
Lekin

$$\begin{aligned} \sin(\omega t - 120^\circ) + \sin(\omega t - 240^\circ) &= 2 \sin(\omega t - 180^\circ) \cdot \cos 60^\circ = \\ &= \sin(\omega t - 180^\circ) = -\sin \omega t. \end{aligned}$$

Shuning uchun nolinchi simdagi tok $I = 0$ bo‘ladi.

Bu hol juda muhim hisoblanadi, chunki AA_1 sim keraksiz bo‘lib qoladi va uni olib tashlash mumkin. Demak, fazalarining farqi 120° ga teng bo‘lgan uchta o‘zgaruvchan i_1 , i_2 va i_3 toklarni ular hosil qilingan joy (generator)dan R_1 , R_2 va R_3 nagruzkalarga uch juft sim o‘rniga faqat uchta sim orqali uzatish imkoniyati bor ekan.

Generator chulg‘amlarining va nagruzkalar qarshiliklarining 251- rasmda ko‘rsatilgan usulda ulanishi „yulduz“ usulida ulash deb yuritiladi.



252- rasm

Generatoridan keladigan BB_1 , CC_1 va DD_1 simlarni liniya simlari deb, har bir chulg'am (AB , AC va AD lar) dagi kuchlanishni faza kuchlanishi deb, toklarni esa faza toklari deb ataladi. Chulg'amlarning C va

D , C va B , B va D nuqtalari orasidagi kuchlanishni liniya kuchlanishlari yoki fazalararo kuchlanishlar deb, toklarni esa liniya toklari deb ataladi.

Generator chulg'amlarining va nagruzka qarshiliklarining „yulduz“ usulida ulashda liniya toklari faza toklariga teng bo'ladi. Lekin liniya kuchlanishlari faza kuchlanishlariga teng emas. Liniya kuchlanishi ikki chulg'amning EYK lari ayirmasiga, ya'ni faza kuchlanishlari ayirmasiga teng bo'ladi. Tegishli hisoblashlarning ko'rsatishicha, liniya kuchlanishi faza kuchlanishidan $\sqrt{3}$ marta katta bo'ladi.

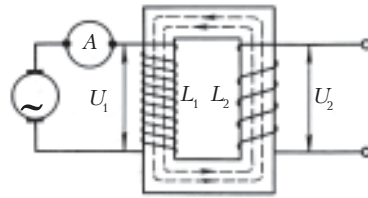
Generator chulg'amlarini va nagruzkalarni „yulduz“ usulida ulashdan tashqari, „uchburchak“ usulida ulash ham bor. Bu usulda har bir chulg'amning oxiri keyingi chulg'amning boshiga ulanadi. Nagruzkalar ham shunday usulda ulanadi (252- rasm). Rasmdan 1 chulg'amning B uchi 2 chulg'amning A uchi bilan, 2 chulg'amning C uchi 3 chulg'amning A uchi bilan va 3 chulg'amning D uchi 1 chulg'amning A uchi bilan ulanganligi ko'rinib turibdi (251- rasmni 252- rasm bilan taqqoslang). Bunday cxema ham R_1 , R_2 va R_3 qarshiliklar orqali o'tayotgan toklarni o'zgartirmasdan uch juft sim o'rniga uchta sim ishlatishga imkon beradi.

„Uchburchak“ usulda ulashda faza kuchlanishi liniya kuchlanishiga teng, liniya toki esa faza tokidan $\sqrt{3}$ marta katta bo'ladi.

135- §. Transformator

Ko'pincha, elektr apparatlarini va asboblarini ishlatishda turli kattalikdagi kuchlanishlardan foydalanishga to'g'ri keladi. Hatto ayni bir elektr apparatining o'zida tokning turli kuchlanishlari kerak bo'lib qoladi. Masalan, radiopriyomnikda lampani cho'g'lantirish uchun bir necha voltgina, uning kuchaytirgichining ishlashi uchun esa bir necha yuz volt kuchlanish kerak bo'ladi.

Vaholanki, ko‘pincha, ixtiyori-mizda muayyan kuchlanishli bit-tagina tarmoq bo‘ladi. Shu sababli, o‘zgaruvchan tokni o‘zgartirishga to‘g‘ri keladi. *Ayni bir chastotaning o‘zida o‘zgaruvchan tok kuchlanishi bilan tok kuchini bir vaqtda o‘zgartirish o‘zgaruvchan tokni trans-*



253- rasm

formatsiyalash deyiladi. O‘zgaruvchan tokni transformatsiyalaydigan asbob transformator deb ataladi. Uning ishlashi elektromagnit induksiya hodisasiga asoslangan.

Transformator bir-biridan izolatsiyalangan po‘lat plastinkalardan yasalgan berk o‘zak va unga kiydirilgan ikki g‘altakdan iborat bo‘lib, g‘altaklar bir-biri bilan tutashmaydi (253- rasm). O‘zak berk ramka shaklida bo‘lib, maxsus po‘latning alohida plastinkalaridan yig‘iladi, po‘latning bu navi qayta magnitlanishda kam qiziydi. O‘zgaruvchan tok zanjiri ulanadigan L_1 g‘altak birlamchi chulg‘am, elektr energiyasi iste‘molchilari ulanadigan L_2 g‘altak esa ikkilamchi chulg‘am deyiladi.

Birlamchi chulg‘amdan o‘tayotgan o‘zgaruvchan tok transformatorning o‘zagida o‘zgaruvchan magnit oqimi hosil qiladi, bu oqim ikkilamchi chulg‘amni kesib o‘tishi natijasida, unda o‘zgaruvchan induksiya elektr yurituvchi kuchni vujudga keltiradi. Agar birlamchi chulg‘amning o‘ramlar soni n_1 kam, ikkilamchi chulg‘amning o‘ramlar soni n_2 ko‘p qilib olinsa, ikkilamchi chulg‘amda kuchlanish yuksaladi. Bu transformator kuchaytiruvchi transformator bo‘ladi. Agar birlamchi chulg‘amning o‘ramlar soni ko‘p, ikkilamchi chulg‘amning o‘ramlar soni kam qilib olinsa (253- rasmdagidek), ikkilamchi chulg‘amda kuchlanish pasayadi. Bu transformator pasaytiruvchi transformator bo‘ladi. Transformatorning ikkala chulg‘amini ayni bir magnit oqimi kesib o‘tadi, shuning uchun o‘ramning qaysi chulg‘amga tegishli bo‘lishiga qaramay, har bir o‘ramda EYK vujudga keladi.

Shunday qilib, chulg‘amlarda vujudga keladigan EYKlarning nisbati chulg‘amlardagi o‘ramlar soni nisbatiga teng bo‘ladi:

$$\frac{1_1}{1_2} = \frac{n_1}{n_2},$$

bu yerda 1_1 — birlamchi chulg‘amdagi EYK, 1_2 — ikkilamchi chulg‘amdagi EYK bo‘ladi.

Birlamchi chulg'amga qo'yilgan U_1 kuchlanish bilan 1_1 EYKning yig'indisi birlamchi chulg'amdagi potensial tushishiga teng bo'lishi kerak:

$$U_1 + 1_1 = I_1 R_1,$$

bu yerda: R_1 — chulg'amning aktiv qarshiligi, I_1 — chulg'amdagi tok kuchi. Odatda, chulg'amning aktiv qarshiligi juda kichik bo'ladi, shuning uchun $I_1 R_1$ hadni hisobga olmasa ham bo'ladi. Shu sababli

$$U_1 = |1_1|.$$

Transformatorning ikkilamchi chulg'ami ochiq bo'lganda (bunda $I_2 = 0$ bo'ladi), uning uchlaridagi kuchlanish quyidagiga teng:

$$U_2 = |1_2|.$$

Shunday qilib, quyidagi munosabatni yozish mumkin:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{1_1}{1_2} = \frac{n_1}{n_2} = k, \quad (244)$$

ya'ni transformatorning birlamchi o'ram uchlaridagi kuchlanishning ikkilamchi o'ram uchlaridagi kuchlanishga nisbati birlamchi g'altak o'ramlar sonining ikkilamchi g'altak o'ramlari soniga nisbatidek bo'lar ekan. k kattalik transformatsiya koeffitsiyenti deb ataladi. Agar $k > 1$ bo'lsa, transformator pasaytiruvchi ($U_2 < U_1$), $k < 1$ bo'lsa, kuchaytiruvchi ($U_2 > U_1$) transformator bo'ladi.

Transformatorning ikkilamchi chulg'amiga iste'molchi ulansa, energiya birlamchi zanjirdan ikkilamchi zanjirga uzluksiz ravishda o'tib turadi. Energiyaning saqlanish qonuniga binoan, ikkilamchi zanjirdagi tokning quvvati birlamchi zanjirdagi tokning quvvatiga teng bo'lishi kerak, ya'ni:

$$I_1 U_1 = I_2 U_2 \quad \text{yoki} \quad N_1 = N_2,$$

bundan

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad (245)$$

kelib chiqadi. Demak, transformator yordamida kuchlanish necha marta orttirilsa, tok kuchi shuncha marta kamaytiriladi yoki aksincha. (244) va (245) munosabatlarga asoslanib quyidagini yozish mumkin:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1}. \quad (246)$$

Bu formuladan ko‘rinadiki, *transformatorning birlamchi va ikkilamchi g‘altaklaridagi yuklanish (nagruzka) toklari shu g‘altaklardagi o‘ramlar soniga teskari proporsional* bo‘ladi. Chulg‘amlarda va o‘zakda issiqlik ajralib chiqishi va energiyaning boshqa xil isroflari mavjudligi tufayli (245) munosabat amalda taxminan bajariladi. Quyidagi

$$\frac{I_2 U_2}{I_1 U_1} = \frac{N_2}{N_1} = \eta \quad (247)$$

munosabat transformatorning FIK ni bildiradi. Hozirgi zamon qudratli transformatorlarida bu koeffitsiyent 94 – 99 protsentga yetadi.

136- §. Elektr energiyani katta masofalarga uzatish

Elektr energiyaning boshqa xil energiyalardan afzalligi shundaki, uni olis joylarga uzatish mumkin.

Elektr energiya olis joylarga uzatilganda uzatish liniyalarida energiya sezilarli miqdorda isrof bo‘ladi, chunki tok uni uzatish liniyalari orqali o‘tganda ularni qizdiradi. Joul – Lens qonuniga muvofiq, liniya o‘tkazgichlarini qizdirish uchun sarf bo‘ladigan energiya miqdori

$$Q = I^2 R t$$

formula bilan aniqlanadi, bu yerda R – liniyaning qarshiligi. Elektr energiyani uzatishda isrof kamroq bo‘lishi uchun liniya o‘tkazgichlarini qizdirishga ketadigan Q energiyani mumkin qadar kamaytirish kerak. Joul – Lens qonuni bu masalani hal qilishning ikki yo‘lini ko‘rsatib beradi:

1. Energiya uzatiladigan liniya simlarining qarshiligini kamaytirish kerak. Buning uchun yo‘g‘on simlar ishlatish kerak. Lekin turmushda buni amalga oshirib bo‘lmaydi, chunki o‘tkazgichning qarshiligi necha marta kamaytirilsa, uning massasi shuncha marta ortadi. Qimmat turadigan rangli metallarni buncha ko‘p sarflashga yo‘l qo‘yib bo‘lmaydi. Bundan tashqari, og‘ir simlarni baland minoralarga o‘rnatish bilan bog‘liq bo‘lgan boshqa qiyinchiliklar ham tug‘iladi.

2. Uzatish liniyalaridagi tok kuchini kamaytirish kerak. Ammo tok quvvatini saqlash uchun tok kuchini faqat kuchlanishni

qiymati bilan qanday bog'lanishda bo'ladi? 10. Induktiv va sig'im qarshiliklar qanday qarshiliklar? Ular qanday hisoblanadi? Formulasidan qarshilik birligini keltirib chiqaring. 11. Issiqlik o'lchov asbobining ishlashi qanday hodisaga asoslangan? Uning yordamida qanday fizik kattaliklar o'lchanadi? 12. O'zgaruvchan tok zanjiri uchun Om qonunini yozing. 13. O'zgaruvchan tok zanjirining to'la qarshiligini qanday formuladan foydalanib hisoblanadi? 14. Aktiv va reaktiv qarshiliklar orasidagi farq nimadan iborat? 15. Reaktiv qarshilikda issiqlik energiyasi ajralmasligini Siz qanday tushuntirasiz? 16. Elektr zanjirda rezonans qanday sharoitda sodir bo'ladi? Rezonans egri chizig'ining ko'rinishi nimaga bog'liq? 17. O'zgaruvchan va o'zgarmas tok generatorlarining tuzilishi va ishlash prinsipini tushuntiring. 18. Bir fazali o'zgaruvchan tok qanday hosil qilinadi? 19. Ikki fazali o'zgaruvchan tok qanday hosil qilinadi? 20. Uch fazali o'zgaruvchan tok qanday hosil qilinadi? 21. „Yulduz“ va „uchburchak“ usulida ulashlarni tushuntiring. 22. Transformator qanday tuzilishga ega? U qanday vazifani bajaradi? 23. Transformatsiya koeffitsiyentining fizik mohiyatini ochib bering. 24. Elektr energiyasi uzoq masofalarga qanday uzatiladi?



MASALA YECHISH NAMUNALARI

1-masala. Tebranish konturi har bir plastinkasining yuzi 100 sm^2 bo'lgan havo kondensatori va induktivligi 10^{-5} H bo'lgan g'altakdan iborat. Konturdagi elektr tebranishlar davri 10^{-7} s . Kondensator plastinkalari orasidagi masofani aniqlang.

$$\text{Berilgan: } S = 100 \text{ sm}^2 = 10^{-2} \text{ m}^2; L = 10^{-5} \text{ H}; \varepsilon = 1; T = 10^{-7} \text{ s}$$

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

$d = ?$

Yechilishi. Tomson formulasi $T = 2\pi\sqrt{LC}$ ga muvofiq kondensatorning sig'imi

$$C = \frac{T^2}{4\pi^2 L}$$

ifodadan aniqlanadi. Ikkinchi tomondan, yassi kondensatorning sig'imi uning o'lchamlari orqali quyidagicha ifodalanadi:

$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d},$$

bunda d – kondensator qoplamalari orasidagi masofa. Sig‘imning bu ifodalarning o‘ng tomonlari o‘zaro tengligidan foydalanib, quyidagini hosil qilamiz:

$$d = \frac{4\pi^2 \epsilon \epsilon_0 L S}{T^2}.$$

$$\text{Hisoblash: } d = \frac{4 \cdot 3,14^2 \cdot 1 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}} \cdot 10^{-5} \text{H} \cdot 10^{-2} \text{m}^2}{10^{-14} \text{s}^2} = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{m}.$$

2- masala. Tebranish konturidagi tok kuchining vaqt bo‘yicha o‘zgarish tenglamasi quyidagi ko‘rinishda berilgan: $I = 0,02 \sin 400\pi t \text{ A}$. Konturning induktivligi 1 H ga teng. Kondensator qoplamalaridagi maksimal potentsiallar farqi, magnit va elektr maydonlarning maksimal energiyasi topilsin.

$$\text{Berilgan: } \frac{I = 0,02 \sin 400\pi t \text{ A}; L = 1 \text{ H.}}{(\varphi_1 - \varphi_2)_{\max} \text{---? } W_{\text{m. max}} \text{---? } W_{\text{e. max}} \text{---?}}$$

Yechilishi. Kondensator qoplamalaridagi maksimal potentsiallar farqi

$$(\varphi_1 - \varphi_2)_{\max} = I_{\max} \cdot R_C = \frac{I_0}{\omega C}$$

ifodadan topiladi, bu yerda $I_{\max} = I_0$ – tok kuchining amplituda qiymati.

Masalaning shartiga binoan, $I_0 = 0,02 \text{ A}$, $\omega = 400\pi \frac{\text{rad}}{\text{s}}$. Tomson

formulasidan foydalanib va $T = \frac{2\pi}{\omega}$ ekanligini e‘tiborga olgan holda, kondensator sig‘imi uchun quyidagi ifodani topamiz:

$$C = \frac{T^2}{4\pi^2 L} = \frac{1}{\omega^2 L}.$$

U holda kondensator qoplamalaridagi maksimal potentsiallar farqi quyidagiga teng bo‘ladi:

$$(\varphi_1 - \varphi_2)_{\max} = I_0 \frac{\omega^2 L}{\omega} = I_0 \omega L.$$

Magnit maydonning maksimal energiyasi

$$W_{\text{m. max}} = \frac{L I_{\max}^2}{2} = \frac{L I_0^2}{2} \quad (\text{a})$$

ifodadan hisoblanadi.

Elektr maydonning maksimal energiyasini esa quyidagicha aniqlash mumkin:

$$W_{e.\max} = \frac{C(\varphi_1 - \varphi_2)_{\max}^2}{2} = \frac{1}{2\omega^2 L} I_0^2 \omega^2 L^2 = \frac{I_0^2 L}{2}. \quad (b)$$

(a) va (b) ifodalardan ko'rinadiki, elektr maydonning va magnit maydonning maksimal energiyalari o'zaro teng ekan. Haqiqatan ham, konturda issiqlik ajralib chiqmasa (konturning aktiv qarshiligi bo'lmasa) va elektromagnit to'lqinlar nurlanmasa, u holda energiyaning saqlanish va aylanish qonuniga binoan, konturning magnit maydon energiyasi elektr maydon energiyasiga aylanadi va, aksincha, elektr maydon energiyasi magnit maydon energiyasiga aylanadi hamda bu energiyalar vaqt o'tishi bilan miqdor jihatdan saqlanib qoladi.

$$\text{Hisoblash: } (\varphi_1 - \varphi_2)_{\max} = 0,02A \cdot 400\pi \frac{1}{s} \cdot 1H \cong 25,1V.$$

$$W_{m.\max} = W_{e.\max} = \frac{1H \cdot (0,02A)^2}{2} = 2 \cdot 10^{-4} J.$$

3- masala. G'altak uchlariga ulangan voltmeter 110 V kuchlanishni, ampermetr esa 10 A tokni ko'rsatsa, g'altakning induktivligini toping. Tok chastotasi 50 Hz. G'altakning aktiv qarshiligi hisobga olinmasin.

$$\text{Berilgan: } \frac{U_{\text{eff}}=110V; I_{\text{eff}}=10A; R=0; \nu=50Hz.}{L=?}$$

Yechilishi. Zanjirning g'altakdan iborat qismining qarshiligi, masalaning shartiga ko'ra, faqat *induktiv* qarshilikdan iborat. Shuning uchun $Z = R_L = \omega L$ bo'ladi, bu yerda: $\omega = 2\pi\nu$ – tokning doiraviy chastotasi, L – g'altakning induktivligi. Om qonuniga asosan:

$$I_{\text{eff}} = \frac{U_{\text{eff}}}{Z} = \frac{U_{\text{eff}}}{\omega L} = \frac{U_{\text{eff}}}{2\pi\nu L}.$$

Bundan g'altakning induktivligi

$$L = \frac{U_{\text{eff}}}{2\pi\nu I_{\text{eff}}}$$

ga teng bo'ladi.

$$\text{Hisoblash: } L = \frac{110V}{10A \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 50Hz} = \frac{11}{314} \frac{V \cdot s}{A} = 0,035H.$$

4- masala. Agar 2 μF sig'imli kondensator o'zgaruvchan tokka 8 Ω qarshilik ko'rsatsa, o'zgaruvchan tokning davri va chastotasi aniqlansin.

$$\text{Berilgan: } \frac{C=2\mu F=2 \cdot 10^{-6} F; R_C=8\Omega.}{T=? \nu=?}$$

Yechilishi. O'zgaruvchan tokning sig'im qarshiligini aniqlovchi

$R_C = \frac{1}{\omega C}$ formuladan doiraviy chastotasini topamiz:

$$\omega = \frac{1}{C \cdot R_C}$$

ω chastota bilan T davr orasidagi bog'lanish

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

bo'lgani uchun

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\frac{1}{CR_C}} = 2\pi CR_C$$

O'zgaruvchan tokning chastotasi

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi CR_C}$$

Hisoblash: $T = 2 \cdot 3,14 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \text{ F} \cdot 8 \Omega \cong 10^{-4} \text{ s}$.

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{10^{-4} \text{ s}} = 10^4 \text{ Hz} = 10 \text{ kHz}.$$

5-masala. 4Ω aktiv, 8Ω induktiv va 5Ω sig'im qarshiliklardan tuzilgan elektr zanjir uchlariga 120 V li o'zgaruvchan kuchlanish qo'yilgan. Zanjirdagi tokni va zanjir qismlaridagi kuchlanishni aniqlang.

Berilgan: $R = 4 \Omega$; $R_L = 8 \Omega$; $R_C = 5 \Omega$; $U_{\text{eff}} = 120 \text{ V}$.
 $I_{\text{eff}} - ?$ $U_R - ?$ $U_L - ?$ $U_C - ?$

Yechilishi. O'zgaruvchan tok zanjiriga oid Om qonuniga muvofiq, zanjirdagi tok kuchi:

$$I_{\text{eff}} = \frac{U_{\text{eff}}}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} = \frac{U_{\text{eff}}}{\sqrt{R^2 + (R_L - R_C)^2}}$$

Zanjir qismlaridagi kuchlanishlarni zanjirning bir qismiga oid Om qonunidan foydalanib, quyidagi munosabatlardan aniqlaymiz:

$$U_R = I_{\text{eff}} \cdot R; \quad U_L = I_{\text{eff}} \cdot R_L; \quad U_C = I_{\text{eff}} \cdot R_C.$$

$$\text{Hisoblash: } I_{\text{eff}} = \frac{120 \text{ V}}{\sqrt{16+(8-5)^2 \Omega}} = \frac{120 \text{ V}}{\sqrt{16+9 \Omega}} = \frac{120}{5} \text{ A} = 24 \text{ A}.$$

$$U_R = 24 \text{ A} \cdot 4 \Omega = 96 \text{ V}; U_L = 24 \text{ A} \cdot 8 \Omega = 192 \text{ V}; U_C = 24 \text{ A} \cdot 5 \Omega = 120 \text{ V}.$$

6- masala. Magistraldan iste'molchigacha tortilgan simda sodir bo'ladigan quvvat isrofi va liniyaning FIK quyidagi berilganlarga asosan aniqlansin: uzatiladigan quvvat 100 kW, stansiyadagi kuchlanish 220 V, simning qarshiligi 0,01 Ω , faza siljishi 37°.

$$\text{Berilgan: } N = 100 \text{ kW} = 10^5 \text{ W}; U_{\text{eff}} = 220 \text{ V}; R = 0,01 \Omega; \varphi = 37^\circ.$$

$$N_1 \text{—? } \eta \text{—?}$$

Yechilishi. Simda isrof bo'ladigan quvvat, asosan, shu simda birlik vaqtda ajralib chiqadigan Joule – Lens issiqligidan iborat. Shuning uchun

$$N_1 = I_{\text{eff}}^2 R,$$

deb yozish mumkin, bu yerda I_{eff} — liniyadagi tok kuchi. Uning kattaligini quvvat formulasiidan foydalanib topamiz:

$$N = I_{\text{eff}} \cdot U_{\text{eff}} \cos \varphi, \quad \text{bundan } I_{\text{eff}} = \frac{N}{U_{\text{eff}} \cdot \cos \varphi}.$$

U holda liniyada isrof bo'ladigan quvvat

$$N_1 = \frac{N^2 R}{U_{\text{eff}}^2 \cdot \cos^2 \varphi}$$

ifodadan aniqlanadi. Iste'molchiga yetib keladigan quvvat $N - N_1$ ga teng, shuning uchun liniyaning FIK

$$\eta = \frac{N - N_1}{N} 100\%$$

ifodadan aniqlanadi.

$$\text{Hisoblash: } N_1 = \frac{10^{10} \text{ W}^2 \cdot 10^{-2} \Omega}{(220 \text{ V})^2 \cdot (0,8)^2} = 3,2 \cdot 10^3 \text{ W} = 3,2 \text{ kW}.$$

$$\eta = \frac{10^5 - 3,2 \cdot 10^3}{10^5} 100\% = 96,8\%.$$



MUSTAQIL YECHISH UCHUN MASALALAR

151. Sig'imi 2 μF bo'lganda tebranish konturida 10³ Hz ga teng chastota hosil qilish uchun shu konturga qanday induktivlik ulash kerak?

152. Tebranishlar chastotasi 400 Hz bilan 500 Hz o'rtasida o'zgarishi uchun tebranish konturidagi g'altakning induktivligi qanday chegaralarda o'zgarishi kerak? Kondensatorning sig'imi 10 μF .

153. Sinusoidal tok elektr yurituvchi kuchining oniy qiymati 40° faza uchun 120V. EYKning amplituda va haqiqiy qiymatlari topilsin.

154. O'zgaruvchan tok o'tayotgan zanjir qismidagi kuchlanish vaqt o'tishi bilan $U = U_0 \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right)$ qonun bo'yicha o'zgaradi. Vaqtning $t = \frac{T}{12}$ qiymatida kuchlanishning oniy qiymati 10 V ga teng. Kuchlanishning amplituda qiymati topilsin.

155. O'zgaruvchan tokning doiraviy chastotasi $100\pi \text{ s}^{-1}$. Tokning davrini va chastotasini aniqlang.

156. Agar o'zgaruvchan tokning chastotasi 500 Hz, g'altak induktivligi 2 H bo'lsa, bunday g'altakning induktiv qarshiligini aniqlang.

157. Induktiv qarshiligi 500 Ω bo'lgan g'altak chastotasi 1000 Hz bo'lgan o'zgaruvchan kuchlanish manbayiga ulangan. Kuchlanishning haqiqiy qiymati 100 V. Zanjirdagi tokning amplituda qiymati va g'altakning induktivligini aniqlang.

158. Kuchlanishning haqiqiy qiymati 110 V, chastotasi 100 Hz bo'lgan o'zgaruvchan tok zanjiriga $5 \cdot 10^{-5} \text{ F}$ sig'imli kondensator, induktivligi 0,2 H bo'lgan g'altak va 4 Ω aktiv qarshilik ketma-ket ulangan. Tok kuchining maksimal qiymati aniqlansin.

159. O'zgaruvchan tok zanjiridagi ampermetr 6 A tokni, voltmetr 220 V kuchlanishni, vattmetr esa 1100 W quvvatni ko'rsatsa, quvvat koeffitsiyenti va tok bilan kuchlanish orasidagi faza siljishi qanday bo'ladi?

160. Rezistor, g'altak va kondensatorlar ketma-ket ulangan zanjirdan 1 A tok o'tmoqda. Zanjirning aktiv qarshiligi 60 Ω , butun zanjirga berilgan kuchlanish 200 V. Zanjirning to'la qarshiligi va aktiv quvvatini toping.

161. Kuchaytiruvchi transformatorning birlamchi chulg'amida 100 o'ram, ikkilamchi chulg'amida 1600 o'ram bor. Birlamchi chulg'am uchlaridagi kuchlanish 100 V, ikkilamchi chulg'amdagi tok kuchi esa 0,3 A ga teng. Transformatorning foydali quvvatini toping.

162. Pasaytiruvchi transformator kuchlanishi 220 V bo'lgan tarmoqqa ulangan. Ikkilamchi chulg'am klemmasiga qarshiligi 12,6 Ω bo'lgan asbob ulangan. Agar transformatsiya koeffitsiyenti 35 bo'lsa, asbobdagi tok kuchini aniqlang.

163. Agar uzatilayotgan quvvat 220 V kuchlanishda 24 kW bo'lsa, o'zgaruvchan tok o'tayotgan ikki simli liniyada simlarning qizishi uchun qancha quvvat isrof bo'ladi? Liniyaning uzunligi 175 m, mis simning ko'ndalang kesim yuzi 35 mm^2 .

164. Ko'ndalang kesimi 150 mm^2 bo'lgan aluminiy kabeldan iborat va uzunligi 50 km bo'lgan elektr uzatish liniyasi orqali 15 000 kW quvvat 100 000 V kuchlanishda uzatilmoqda. Liniyaning FIK ni aniqlang.

Mustaqil yechish uchun berilgan masalalarning javoblari

1. 6 marta ortadi. 2. 81 marta kamayadi. 3. $5 \cdot 10^{-3}$ m.
4. 9 kN. 5. $4 \cdot 10^8$ dona. 6. 26 mN. 7. 0,07 mN. 8. **O'xshashligi:**
1) elektrostatik maydonda nuqtaviy zaryadlar orasidagi o'zaro ta'sir kuchi masofaning kvadratiga teskari proporsional (Kulon qonuni); ikkita nuqtaviy massalar (moddiy nuqtalar) uchun ham shunday qonuniyat o'rinli (Nyuton qonuni); 2) bu esa ikkala holda ham berk yo'lda bajarilgan ish hamma vaqt nolga teng bo'lishiga olib keladi, ya'ni ikkala maydon ham potensial maydondir; 3) bundan, o'z navbatida, elektrostatik maydonda ham, gravitatsion maydonda ham potentsiallar ayirmasi mavjudligi kelib chiqadi. **Farqi:** Elektr maydonda turli ishorali ikki xil zaryadlar mavjud bo'lgani holda, gravitatsion maydonda manfiy massa yo'q. Bu hol bir qator butunlay turli natijalarga olib keladi. Masalan, jism elektr jihatdan neytral (zaryadlanmagan) bo'lishi, ya'ni atrofida elektr maydon hosil qilmasligi mumkin; lekin gravitatsion neytral jism mavjud emas, har qanday moddiy jism o'z atrofida gravitatsion maydon (og'irlik kuchi maydoni) hosil qiladi va atrof jismlarga ta'sir ko'rsatadi. 9. 0; $\pm \frac{q}{\pi \epsilon_0 r}$. 10. $9 \cdot 10^{-7}$ C. 11. 91 V/m. 12. 752 V.
13. 14 m/s. 14. 7,2 kV. 15. 120 N. 16. 542 J. 17. O'zgarmaydi.
18. Masalan, elektrometr yordamida. Buning uchun elektrometr korpusini yakkalab, uning sterjenini sharlardan biri bilan, korpusini esa ikkinchi shar bilan ulash lozim. 19. Yaproqchalarning og'ishi kamayadi, chunki elektroskop zaryadi metall buyumning o'ziga yaqin uchida qarama-qarshi ishorali zaryadni induksiylaydi, u esa yaproqchalarning og'ishini kamaytiradi. 20. Chunki qo'lda qarama-qarshi ishorali zaryad induksiylanadi. 21. Birinchi holda (paxta shisha plastinka ustida), induksiylangan va tayoqcha zaryadi bilan bir xil ishorali zaryad paxta bo'lagida qoladi va u tayoqcha zaryadi bilan unga qarama-qarshi ishorali induksiylangan zaryad orasidagi tortishish kuchini kamaytiradi. Ikkinchi holda esa tayoqcha zaryadi bilan bir xil ishorali induksiylangan zaryad yog'och stol orqali o'tib ketadi, natijada tayoqcha zaryadi bilan qarama-qarshi ishorali induksiylangan zaryad orasidagi tortishish kuchliroq bo'ladi. 22. Teng taqsimlanadi. 23. Sharchaning zaryadlan-gan jismga yaqin tomonida induksiylangan qarama-qarshi ishorali

zaryad hosil bo‘ladi. Shuning uchun, ikkala holda ham, sharcha zaryadlangan jismga tortiladi. **24.** Ha, o‘zgaradi. Chunki o‘tkazgichning elektr sig‘imi atrof-muhitning elektr singdiruvchanligiga bog‘liq. **25.** $4,5 \cdot 10^{-2}$ m. **26.** $53,7 \cdot 10^{-6}$ m. **27.** $2,94 \cdot 10^{-9}$ F. **28.** $3 \cdot 10^{-9}$ C. **29.** $4,72 \cdot 10^{-6}$ J. **30.** Birinchi holatda 16 marta. **31.** $2 \cdot 10^{20}$ ta. **32.** $2,5 \Omega$. **33.** $5 \cdot 10^{-6}$ m/s. **34.** 265 m. **35.** 8,45 m; 2,37 mm². **36.** $4,5 \cdot 10^{18}$ ta. **37.** 1673 K. **38.** 40 V; 10 V; 70 V; 60 Ω . **39.** 2 Ω . **40.** 0,96 Ω ; 5 A. **41.** 25 ta. **42.** 12 V; 4 V; 2 A; 1 A. **43.** 24 V; 0,8 A; 1,2 A. **44.** 0,4 Ω . **45.** 30 A. **46.** 110 ta. **47.** 0,285 A. **48.** 40 A. **49.** 0,02 Ω . **50.** 3800 Ω . **51.** 0,74 A. **52.** 1,5 marta. **53.** 4,3 kW; 19,6 A. **54.** 12 m. **55.** 11,6 min. **56.** 2,05 A. **57.** 83,3%. **58.** 60 W. **59.** a) nikelin sim ko‘proq qiziydi, chunki uning qarshiligi ko‘proq; b) mis sim ko‘proq qiziydi, chunki eng katta tok u orqali o‘tadi. **60.** 255-rasmga qarang. **61.** 1,96 eV. **62.** Elektr maydonda ikkita ketma-ket to‘qnashuvlar orasida ionlar tezlashgan holatda harakatlanadilar va kinetik energiyaga ega bo‘ladilar. To‘qnashuv sodir bo‘lganda tartibli harakat kinetik energiyasi tartibsiz harakat energiyasiga, ya‘ni issiqlikka aylanadi. **63.** Qo‘ldagi namlikda hamma vaqt NaCl eritmasi bo‘ladi, u elektrolit hisoblanadi. Shuning uchun namlik sim bilan qo‘l terisi orasida quruq teriga nisbatan ancha yaxshi kontakt hosil qiladi. **64.** Chunki elektrolit hajmining har bir qismida qancha musbat ion bo‘lsa, shuncha manfiy ion bor. Shuning uchun elektrolit o‘rtacha zaryadlanmagan bo‘ladi. **65.** Ion va molekularning issiqlik harakati. **66.** Agar simlarning orasida kuchlanish bo‘lsa, u holda suvda elektroliz boshlanadi va simlarda gaz (vodorod va kislorod) pufakchalari ajrala boshlaydi. **67.** Suv elektrolizida ajraladigan vodorodning hajmi kislorodning hajmidan 2 marta ko‘p bo‘ladi. Shuning uchun qaysi qutbda gaz ko‘p ajralsa, o‘sha qutb manfiy bo‘ladi. **68.** 1 A. **69.** 0,04 A kam ko‘rsatadi. **70.** 21,42 g; 0,238 mg/C. **71.** $1,06 \cdot 10^{-3}$ m³. **72.** 50,65 min. **73.** 3 Ω . **74.** 80 soat. **75.** Parallel ulanganda EYK bitta akkumulatorning EYK ga teng bo‘ladi, ichki qarshiligi ikki marta kamayadi, sig‘imi bitta akkumulatorning sig‘imidan ikki marta ortadi. Ketma-ket ulanganda EYK ikki marta ortadi, ichki qarshilik ham ikki marta ortadi, sig‘imi esa bitta akkumulatorning sig‘imiga teng bo‘ladi. **76.** Chunki o‘tkir qirralarda zaryadlar ko‘proq to‘planib, kuchli maydon hosil bo‘ladi. Bu esa toj razryadning sodir bo‘lishini osonlashtiradi. **77.** Antenna

yaxshi yashin o'tkazgich bo'lib, u momaqaldiraq paytida yerga yaxshi ulangan bo'lishi kerak. **78.** Gazning og'ir ionlari elektr maydon ta'sirida katod sirtiga urilib, uni yemiradi. **79.** $1,25 \cdot 10^{20}$ ta. **80.** $1,91 \cdot 10^6$ m/s. **81.** $5 \cdot 10^{-3}$ m. **82.** $3,1 \cdot 10^{17}$ s⁻¹. **83.** $5 \cdot 10^{-6}$ m. **84.** 250 A; 750 kJ. **85.** $25 \cdot 10^{-3}$ V. **86.** $2 \cdot 10^3$ Ω. **87.** $4 \cdot 10^{-5}$ T. **88.** $2,51 \cdot 10^{-5}$ T. **89.** $11,85 \cdot 10^{-2}$ T. **90.** $5 \cdot 10^{-6}$ T. **91.** $6,3 \cdot 10^{-3}$ T. **92.** Janubiy qutbi bilan. **93.** Shar markazida magnit maydon induksiya vektori ikkala o'ram sirtiga perpendikular bo'lgan sirtida yotadi va bu sirtlar bilan o'zaro 45° burchak hosil qiladi. **94.** 0,4 m. **95.** $1,5 \cdot 10^{-3}$ N·m. **96.** $5 \cdot 10^{-2}$ T. **97.** $0,22 \cdot 10^{-3}$ T. **98.** Tok oqayotgan spiralning har bir o'ramini magnit plastinkaga o'xshatish mumkin. Bu plastinkalarning bir xil ishorali (masalan, janubiy) qutblari bir tomonga, boshqa xil ishorali qutblari ikkinchi tomonga yo'nalgan bo'ladi. Shuning uchun ular o'zaro tortiladi va spiral qisiladi. **99.** a) o'ram qisilib, bir-biriga tegib turuvchi o'zaro parallel ikki to'g'ri chiziq ko'rinishini oladi; b) o'ram aylana shaklini oladi. **100.** Tok ulanganda prujina qisiladi, uning *B* uchi kosachadagi simobdan chiqadi va zanjir uziladi. So'ng qisilgan prujinada vujudga kelgan elastiklik kuchi ta'sirida u yana to'g'ri-lanadi (avvalgi holatiga qaytadi), uning *B* uchi simobga botadi va zanjir qayta ulanadi. Shu tartibda prujinaning harakati takrorlanaveradi. **101.** 15 A. **102.** 17°. **103.** 5 W. **104.** 0,2 T. **105.** $1,25 \cdot 10^{-5}$ N/m. **106.** 1,0 N. **107.** $3,2 \cdot 10^{-19}$ C. **108.** $7 \cdot 10^{15}$ m/s². **109.** $4,1 \cdot 10^{-16}$ N. **110.** 4,5 μV. **111.** 0,323 m. **112.** Yo'q, induksiyalanmaydi, chunki ramkaning istalgan holatida uning tekisligi magnit maydon kuch chiziqlariga parallel bo'ladi va ramka orqali magnit induksiya oqimi o'tmaydi. **113.** Yashin toki bilan bir vaqtda yuzaga keladigan magnit maydon o'tkazgichlarda kuchli induksion tokni hosil qiladi. **114.** 0,5 s; 5 A. **115.** Elektromagnitning katta induktivligi tufayli. **116.** Elektromagnitning induktivligi katta bo'lganligi tufayli. **117.** 0,1 V. **118.** 50 V. **119.** 20 m; 2 A. **120.** 64. **121.** $18 \cdot 10^{-3}$ V. **122.** 1 H. **123.** $7,1 \cdot 10^{-4}$ H, $1,42 \cdot 10^{-3}$ Wb. **124.** 1) o'ram sonini kamaytirish; 2) temir o'zakni chiqarib olish. **125.** 380. **126.** 399. **127.** Induktivligi katta bo'lgan elektromagnitni uzganda kuchliroq uchqun chiqadi. **128.** 1,55 A. **129.** Harakat borgan sari o'sib boruvchi tezlanish bilan sodir bo'ladi, chunki temir bo'lagi magnitga yaqinlashgan sari unga ta'sir etuvchi kuch tobora o'sib boradi. **130.** Spitsa ikki

bo‘lakka bo‘linadi va ular uchlarining bir-biriga tortilish yoki tortilmasligi kuzatiladi. **131.** Brusoklar „T“ shaklida joylashtiriladi. Agar vertikal joylashtirilgan brusok magnitlangan bo‘lsa, u gorizonta joylashtirilgan brusokni o‘ziga sezilarli tortadi. Agar gorizonta joylashtirilgan brusok magnitlangan bo‘lsa, u holda brusoklarning bir-biriga tortilishi sezilmaydi, chunki vertikal brusokning uchi gorizonta brusokning neytral sohasida turibdi. **132.** $10 \cdot \sin 4\pi t$ sm. **133.** 1 s. **134.** 15 sm; 2 s; 47,1 sm/s; 150 sm/s². **135.** 0,7 s. **136.** 9,86 m/s². **137.** $\approx 0,6$ m. **138.** 15,8 N/m. **139.** 0,1 m. **140.** 0,049 J. **141.** 4 Hz; 2,8 J; 3,75 m/s. **142.** 2,4 m/s. **143.** $x = 0,05 \times \sin 2\pi t$ m, $x = -0,05 \cos 2\pi t$ m. **144.** 4,35 marta. **145.** 0,51 km. **146.** $1,7 \cdot 10^{-2}$ m. **147.** 349,8 m/s. **148.** 350 m/s; 30 m/s. **149.** 180°. **150.** 0,025 sm. **151.** $12,7 \cdot 10^{-3}$ H. **152.** $1,6 \cdot 10^{-2}$ H \geq L $\geq 10^{-2}$ H. **153.** 186,7 V; 132 V. **154.** 11,54 V. **155.** 0,02 s; 50 Hz. **156.** 6280 Ω . **157.** 0,28 A; 0,08 H. **158.** 1,65 A. **159.** 0,83; 33°36'. **160.** 200 Ω ; 60 W. **161.** 480 W. **162.** 0,5 A. **163.** 2 kW. **164.** 97%.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Телеснин Р.В., Яковлев В.Ф. Курс физики. Электричество, М., „Просвещение“, 1970.
2. Grabovskiy R. I. Fizika kursi, T., „O‘qituvchi“, 1973.
3. Калашников С.Г. Электричество, М., „Наука“, 1970.
4. Putilov K. A. Fizika kursi, 2- qism, T., „O‘qituvchi“, 1971.
5. Savelyev I.V. Umumiy fizika kursi, II tom, T., „O‘qituvchi“, 1975.
6. Frish S.E., Timoreva A.B. Umumiy fizika kursi, II tom, T., „O‘qituvchi“, 1972.
7. Элементарный учебник физики, том II, под редакцией академика Г.С. Ландсберга, М., „Наука“, 1969.
8. Яворский Б.М., Пинский А.А. Основы физики, том I, М., „Наука“ 1981.
9. Jdanov L. S. Fizika, T., „O‘qituvchi“, 1980.
10. Гурский И.П. Элементарная физика, М., „Наука“, 1973.
11. Милковская Л.Б. Повторим физику, М., „Высшая школа“, 1972.
12. Demkovich V. P., Demkovich L.P. Fizikadan masalalar to‘plami, T., „O‘qituvchi“, 1975.
13. Rimkevich A.P. Fizikadan masalalar to‘plami, T., „O‘qituvchi“, 1991.
14. Volkenshteyn V.S. Umumiy fizika kursidan savol va masalalar to‘plami, T., „O‘qituvchi“, 1982.
15. Umumiy fizika kursidan masalalar to‘plami, M.S. Sedrik tahriri ostida, T., „O‘qituvchi“, 1991.
16. O‘lmasova M.H., Kamolov J., Toshmuhamedov F. Fizika. Elektr, optika, atom va yadro fizikasi, T., „O‘qituvchi“, 1985.
17. O‘lmasova M. H., Kamolov J., Lutfullayeva T. Fizika. Mexanika, molekular fizika va issiqlik, T., „O‘qituvchi“, 1997.
18. Виноградов Л. В. Энергетика завтрашнего дня, М., 1965.
19. Валиев К. А. Микроэлектроника: достижения и пути развития, М., „Наука“, 1986.
20. Шайв Дж. Н. Физические свойства и конструкции полупроводниковых приборов, М.-Л., „Госэнергоиздат“, 1963.

MUNDARIJA

So'zboshi	3
-----------------	---

ELEKTRODINAMIKA ASOSLARI

I BOB. Elektrostatika

1- §. Elektr zaryadlari va ularning o'zaro ta'siri	4
2- §. Kulon qonuni. Elektr miqdori birliklari	8
<i>Takrorlash uchun savollar</i>	11
<i>Masala yechish namunalari</i>	11
<i>Mustaqil yechish uchun masalalar</i>	13
3- §. Elektr maydon. Elektr maydon kuchlanganligi	14
4- §. Elektr kuch chiziqlari	17
5- §. Kuchlanganlik oqimi. Ostrogradskiy – Gauss teoremasi	19
6- §. Ostrogradskiy – Gauss teoremasining tatbiqi	21
7- §. Elektrostatik maydonda zaryadni ko'chirishda bajarilgan ish	25
8- §. Potensiallar farqi va potensial	26
9- §. Elektrometr. Yerga ulash	28
10- §. Maydon kuchlanganligi bilan potensiallar farqi orasidagi bog'lanish	29
<i>Takrorlash uchun savollar</i>	32
<i>Masala yechish namunalari</i>	32
<i>Mustaqil yechish uchun masalalar</i>	36
11- §. Elektr maydonda o'tkazgichlar	37
12- §. Elektrostatik induksiya. Zaryadning sirt bo'yicha taqsimoti	39
13- §. Elektrofor mashina	41
14- §. Elektr maydonda dielektriklar. Dielektriklarning qutblanishi	43
15- §. Segnetoelektriklar	46
16- §. Pyezoelektrik effekt	47
17- §. Elektr sig'imi va uning birliklari	49
18- §. Kondensator va uning turlari	51
19- §. Yassi kondensator, sferik kondensator va sharning sig'imi	53
20- §. Kondensatorlarni ulash	56
21- §. Elektrostatik maydon energiyasi	58
<i>Takrorlash uchun savollar</i>	59
<i>Masala yechish namunalari</i>	59
<i>Mustaqil yechish uchun masalalar</i>	62

II BOB. O'zgarmas tok

22- §. Elektr toki, uning tabiati va ta'siri	63
23- §. Tok kuchi, tok zichligi va ularning birliklari	64
24- §. O'zgarmas tok manbalari. Elektr yurituvchi kuch	66
25- §. Zanjirning bir qismi uchun Om qonuni. Qarshilik	69
26- §. O'tkazgichning qarshiligini hisoblash. Solishtirma qarshilik	71
27- §. O'tkazgich qarshiligining temperaturaga bog'liqligi	72
28- §. O'ta o'tkazuvchanlik. O'ta o'tkazgichlar va ularning qo'llanilishi	74
29- §. Tarmoqlangan elektr zanjiri. Kirxgof qoidalari	76
30- §. O'tkazgichlarni ketma-ket va parallel ulash	78
<i>Takrorlash uchun savollar</i>	81
<i>Masala yechish namunalari</i>	81
<i>Mustaqil yechish uchun masalalar</i>	86
31- §. Zanjirning bir jinsli bo'lmagan qismi uchun Om qonuni	87
32- §. Berk zanjir uchun Om qonuni	88
33- §. Om qonunining differensial ko'rinishi	90
34- §. Tok manbalarini ketma-ket va parallel ulash	91
35- §. Elektr zanjiriga o'lchov asboblari ulash. O'lchov asboblari shunt va qo'shimcha qarshilik tanlash	93
36- §. O'zgarmas tokning ishi va quvvati	96
37- §. Joul – Lens qonuni	99
38- §. Tok manbayining quvvati va foydali ish koeffitsienti	100
<i>Takrorlash uchun savollar</i>	103
<i>Masala yechish namunalari</i>	103
<i>Mustaqil yechish uchun masalalar</i>	108

III BOB. Turli muhitlarda elektr toki

39- §. Metallarda erkin elektronlar mavjudligini tasdiqlovchi tajribalar	110
40- §. Metallarda elektr toki. Elektr qarshilikning sabablari	112
41- §. Metallarda elektr o'tkazuvchanligining klassik elektron nazariyasi elementlari	114
42- §. Elektronning chiqish ishi	117
43- §. Elektrolitlar. Elektrolitik dissotsiatsiya	118
44- §. Ionlarning harakatchanligi. Elektrolitik o'tkazuvchanlik	120
45- §. Elektroliz. Faradey qonunlari	122
46- §. Elektronning zaryadini aniqlash	126
47- §. Elektrolizning texnikada qo'llanilishi	127
48- §. Galvanik element	129
49- §. Daniyel elementi	130
50- §. Elektrodning qutblanishi	133
51- §. Akkumulatorlar	134
<i>Takrorlash uchun savollar</i>	136
<i>Masala yechish namunalari</i>	137
<i>Mustaqil yechish uchun masalalar</i>	140

52- §. Gazlarda elektr toki	141
53- §. Nomustaqil va mustaqil gaz razryadlari	142
54- §. Mustaqil razryadning turlari	145
55- §. Plazma to'g'risida tushuncha	149
56- §. Magnitogidrodinamik generator	151
57- §. Vakuumda elektr toki. Elektronlar dastasi	152
58- §. Elektron lampalar. Diod va uning volt-amper xarakteristikasi	155
59- §. Triod va uning to'r xarakteristikasi	158
60- §. Ko'p to'rli elektron lampalar	160
61- §. Elektron-nurli trubka	161
62- §. Kontakt potentsiallar farqi	163
63- §. Termoelektr hodisasi. Termoelektr yurituvchi kuch. Termopara	165
64- §. Termoelektron energetik o'zgartgichlar	167
<i>Takrorlash uchun savollar</i>	169
<i>Masala yechish namunalari</i>	169
<i>Mustaqil yechish uchun masalalar</i>	173
65- § Yarimo'tkazgichlarda elektr toki	174
66- § Yarimo'tkazgichlarda xususiy elektr o'tkazuvchanlik	175
67- § Yarimo'tkazgichlarda aralashmali elektr o'tkazuvchanlik	177
68- §. Yarimo'tkazgichli diod	179
69- §. Yarimo'tkazgichli triod	182
70- §. Tranzistorlarning turlari. Integral sxemalar haqida	183
71- §. Termoqarshiliklar. Fotoqarshiliklar	186
72- §. Yarimo'tkazgichli termoelementlar. Termoelektr tok generatorlari	188
<i>Takrorlash uchun savollar</i>	190
IV BOB. Magnit maydon	
73- §. Tokning magnit maydoni	190
74- §. Magnit maydon induksiya vektori	193
75- §. Magnit maydon induksiya chiziqlari	195
76- §. Bio – Savar – Laplas qonuni. To'g'ri tok, aylanma tok, solenoid va toroidning magnit maydon induksiyasi	197
77- §. Magnit induksiya oqimi	200
<i>Takrorlash uchun savollar</i>	201
<i>Masala yechish namunalari</i>	202
<i>Mustaqil yechish uchun masalalar</i>	205
78- §. Magnit maydonning tokli o'tkazgichga ta'siri. Amper qonuni	206
79- §. Tokli o'tkazgichni magnit maydonda ko'chirishda bajarilgan ish	207
80- §. Magnit maydonga kiritilgan tokli ramka	209
81- §. Parallel toklarning o'zaro ta'siri. Tok kuchi birligi – amper	211
82- §. Elektr o'lchov asboblari	213

83- §. Lorens kuchi	215
84- §. Xoll effekti	217
85- §. Harakatlanayotgan zaryadli zarralarning elektr va magnit maydonlarda og‘ishi	219
86- §. Mass-spektrometr	221
87- §. Siklotron	223
<i>Takrorlash uchun savollar</i>	225
<i>Masala yechish namunalari</i>	226
<i>Mustaqil yechish uchun masalalar</i>	232

V BOB. Elektromagnit induksiya

88- §. Elektromagnit induksiya hodisasi	234
89- §. Induksion tokning yo‘nalishi. Induksion EYKning kattaligi	236
90- §. Magnit maydonda ochiq o‘tkazgich harakatlanganida induksion EYKning vujudga kelishi	239
91- §. O‘zinduksiya hodisasi. Induktivlik	241

VI BOB. Moddalarda magnit maydon

92- §. Moddalarning magnit xossalari	244
93- §. Magnetiklar. Magnit qabul qiluvchanlik va magnit singdiruvchanlik	247
94- §. Diamagnetiklar va paramagnetiklar	249
95- §. Ferromagnetiklarning asosiy xossalari	251
96- §. Ferromagnetizmning tabiati. Antiferromagnetiklar. Ferritlar	253
97- §. Magnit maydon energiyasi	256
<i>Takrorlash uchun savollar</i>	258
<i>Masala yechish namunalari</i>	259
<i>Mustaqil yechish uchun masalalar</i>	263

TEBRANISHLAR VA TO‘LQINLAR

VII BOB. Mexanik tebranishlar va to‘lqinlar

98- §. Tebranishlar haqida umumiy ma’lumotlar	265
99- §. Garmonik tebranishlar	266
100- §. Garmonik tebranishlarda tezlik va tevlanish	268
101- §. Erkin garmonik tebranishlar	270
102- §. Matematik mayatnik	271
103- §. Prujinali mayatnik	273
104- §. Garmonik tebranishlar energiyasi	274
105- §. So‘nuvchi tebranishlar	275
106- §. Majburiy tebranishlar	277
107- §. Rezonans	278
108- §. Avtotebranishlar	280
<i>Takrorlash uchun savollar</i>	281
<i>Masala yechish namunalari</i>	282
<i>Mustaqil yechish uchun masalalar</i>	286

109- §. Elastik to‘lqinlar	287
110- §. Ko‘ndalang va bo‘ylama to‘lqinlar	288
111- §. To‘lqinning tarqalish tezligi. To‘lqin uzunligi	290
112- §. Yassi va sferik to‘lqinlar	292
113- §. Yassi to‘lqin tenglamasi	293
114- §. Tovush to‘lqinlari. Tovush tezligi	295
115- §. Tovushning balandligi, qattiqligi va temбри	296
116- §. Akustik rezonans	297
117- §. Ultratovush	298
118- §. To‘lqin interferensiyasi	300
119- §. Turg‘un to‘lqinlar	302
120- §. To‘lqin difraksiyasi. Gyuygens prinsipi	305
<i>Takrorlash uchun savollar</i>	308
<i>Masala yechish namunalari</i>	308
<i>Mustaqil yechish uchun masalalar</i>	310

VIII BOB. Elektromagnit tebranishlar. O‘zgaruvchan tok

121- §. Tebranish konturi. Erkin elektromagnit tebranishlar	311
122- §. Erkin elektromagnit tebranishlar tenglamasi, davri va chastotasi	314
123- §. So‘nmas elektromagnit tebranishlar generatori	316
124- §. O‘zgaruvchan tok hosil qilish	318
125- §. O‘zgaruvchan tokda EYK va tok kuchining vaqtga bog‘liqlik grafiklari	320
126- §. Tok va kuchlanishning haqiqiy qiymati	322
127- §. O‘zgaruvchan tok zanjirida induktiv va sig‘im qarshiliklar	324
128- §. O‘zgaruvchan tok zanjiri uchun Om qonuni	327
129- §. O‘zgaruvchan tok zanjirida quvvat	328
130- §. Elektr zanjirida rezonans	329
131- §. O‘zgaruvchan tok generatori	331
132- §. O‘zgaruvchan tok generatori	333
133- §. Bir fazali va ikki fazali tok	334
134- §. Uch fazali tok. „Yulduz“ va „uchburchak“ usulida ulash	336
135- §. Transformator	338
136- §. Elektr energiyani katta masofalarga uzatish	341
<i>Takrorlash uchun savolldar</i>	342
<i>Masala yechish namunalari</i>	343
<i>Mustaqil yechish uchun masalalar</i>	347
Mustaqil yechish uchun berilgan masalalarning javoblari	349
Foydalanilgan adabiyotlar	353

MUHABBAT HAMDAMOVNA O'LMASOVA

FIZIKA

- ELEKTRODINAMIKA ASOSLARI
- TEBRANISHLAR VA TO'LQINLAR

2- kitob

Akademik litseylar uchun o'quv qo'llanma

*„O'qituvchi“ nashriyot-matbaa ijodiy uyi
Toshkent — 2004*

Muharrirlar: *M. Po'latov, N. G'oyipov, M. Shermatova*
Rasmlar muharriri *M. Kudryashova*
Texnik muharrir *S. Tursunova*
Musahhah *A. Ibrohimov*
Kompyuterda sahifalovchi *D. Mannonova*

IB № 8313

2004- yil 27- sentabrda original-maketdan bosishga ruxsat etildi.
Bichimi 60x90¹/₁₆. Kegli 11 shponli. Tayms garnit. Ofset bosma usulida chop etildi. Bosma t. 22,5. Nashr t. 22,0. 5000 nusxada bosildi. Buyurtma №

O'zbekiston Matbuot va axborot agentligining „O'qituvchi“ nashriyot-matbaa ijodiy uyi. Toshkent — 129, Navoiy ko'chasi, 30-uy. // Toshkent, Yunusobod dahasi, Murodov ko'chasi, 1- uy. Shartnoma № 09 — 40 — 04.

- '69 **O'lmasova M.H.**
 Fizika. Elektrodinamika asoslari. Tebranishlar va to'liqlar. 2- kitob. Akademik litseylar uchun o'quv qo'llanma / B. M. Mirzaahmedov tahriri ostida: -T.: „O'qituvchi“ NMIU. 2004. – 360b.
 O'zR Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi; O'rta maxsus, kasb-hunar ta'limi markazi; O'rta maxsus, kasb-hunar ta'limini rivojlantirish instituti.

BBK 22.3ya721+22.313